THE

LAST CODEX

Se tudo se perdesse, seria aqui que tudo recomeçaria.

As invenções da humanidade: o que são, como funcionam e como voltar a construí-las.

Edição para imprimir de 14 de outubro de 2026
https://lastcodex.org

Índice

I Sobrevivência

Ferramentas de pedra · há 3,3 milhões de anos · 5
Domínio do fogo · há 1 milhão de anos · 9
Corda e cordame · há 50.000 anos · 13

II Fixação

Arco e flechas · há 62.000 anos · 18
Cerâmica · há 18.000 anos · 23
Pão · há 12.400 anos · 27
Cal e argamassa de cal · há 10.000 anos · 31
Água potável · c. 8.400 a.C. · 35
Tijolos · c. 7.500 a.C. · 40
Tecelagem · c. 6.700 a.C. · 44
Salga · c. 6.050 a.C. · 48
Irrigação · c. 6.000 a.C. · 52
Queijo · c. 5.500 a.C. · 57
Arado · c. 5.000 a.C. · 61
Carvão vegetal · c. 4.500 a.C. · 65
Tingimento · c. 4.200 a.C. · 69
Arco e abóbada · c. 3.500 a.C. · 73
Cerveja · c. 3.500 a.C. · 77
Roda e eixo · c. 3.500 a.C. · 81
Escrita · c. 3.300 a.C. · 85
Vela · c. 3.200 a.C. · 89
Sabão · c. 2.800 a.C. · 93
Numeração posicional · c. 2.050 a.C. · 97
Curtimento do couro · c. 1.500 a.C. · 101
Relógio de sol · c. 1.500 a.C. · 105
Rotação de culturas · c. 700 a.C. · 109
Fechadura e chave · c. 700 a.C. · 114

III Ofícios e cidades

Roda de oleiro · c. 4.000 a.C. · 119
Bronze · c. 3.300 a.C. · 123
Medidas e padrões · c. 3.000 a.C. · 127
Vidro · c. 2.500 a.C. · 132
Metalurgia do ferro · c. 1.200 a.C. · 136
Aço · c. 1.000 a.C. · 140
Aqueduto · c. 690 a.C. · 145
Grua e roldana · c. 515 a.C. · 149
Engrenagens · c. 300 a.C. · 153
Roda hidráulica · c. 300 a.C. · 157
Bomba de pistão · c. 270 a.C. · 161
Betão romano · c. 200 a.C. · 165
Papel · c. 150 a.C. · 169
Destilação · c. 300 · 173
Coelheira · c. 480 · 177
Pólvora · c. 850 · 181
Moinho de vento · c. 900 · 185
Roda de fiar · c. 1000 · 189
Bússola · c. 1088 · 193
Óculos · c. 1286 · 197
Relógio mecânico · c. 1300 · 201
Prensa de impressão · c. 1440 · 205

IV Ciência e indústria

Navegação astronómica c. 1460 · 210
Microscópio c. 1590 · 214
Telescópio 1608 · 218
Termómetro e barómetro c. 1654 · 222
Máquina a vapor 1712 · 227
Balão de ar quente 1783 · 231
Vacinação 1796 · 235
Pilha elétrica 1800 · 240
Locomotiva a vapor 1804 · 244
Conservas e pasteurização 1810 · 248
Bicicleta 1817 · 253
Cimento Portland 1824 · 257
Fotografia c. 1827 · 261
Turbina hidráulica 1827 · 265
Máquina de costura 1830 · 270
Gerador elétrico 1831 · 274
Motor elétrico 1834 · 278
Refrigeração 1834 · 282
Telégrafo elétrico 1837 · 286
Borracha vulcanizada 1839 · 290
Anestesia 1846 · 294
Higiene e antissepsia 1847 · 299
Bateria de chumbo-ácido 1859 · 303

V Era elétrica

Betão armado c. 1848 · 308
Motor de combustão interna 1876 · 313
Telefone 1876 · 317
Lâmpada incandescente 1879 · 321
Turbina a vapor 1884 · 325
Transformador 1885 · 330
Alumínio 1886 · 335
Turbina eólica 1887 · 339
Rádio c. 1895 · 344
Radiografia 1895 · 348
Avião 1903 · 352
Penicilina 1928 · 356
Transístor 1947 · 361
Computador 1948 · 365
Célula solar 1954 · 370
Reidratação oral 1968 · 375

I

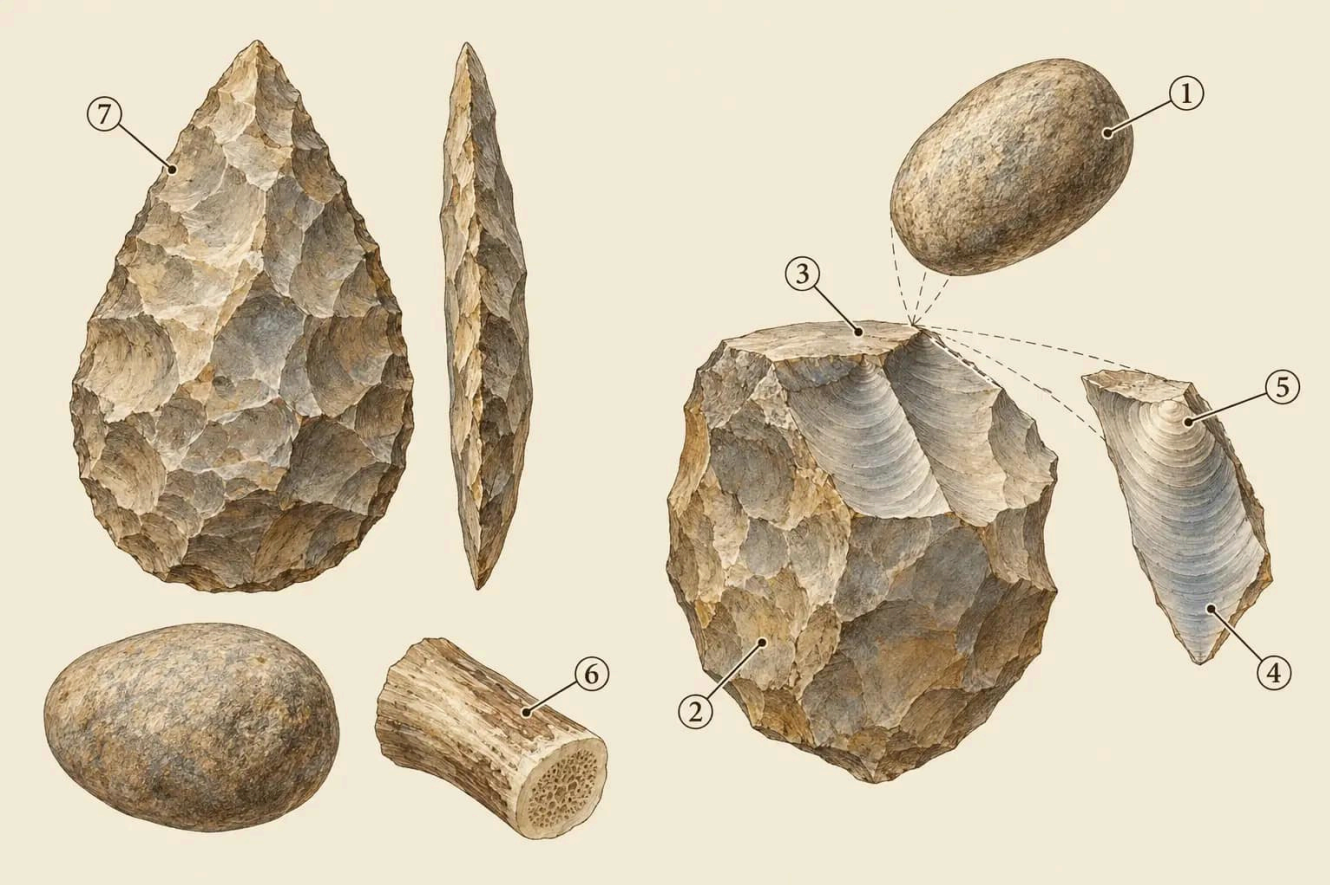
Sobrevivência

Ferramentas de pedra

O primeiro gume

há 3,3 milhões de anos · Pré-história · Sobrevivência

Conduz a: Arco e abóbada (p. 73), Arco e flechas (p. 18), Carvão vegetal (p. 65), Irrigação (p. 52), Curtimento do couro (p. 101), Cal e argamassa de cal (p. 31), Fechadura e chave (p. 114), Medidas e padrões (p. 127), Arado (p. 61), Roda e eixo (p. 81), Escrita (p. 85)



1 Percutor 2 Núcleo 3 Plano de percussão 4 Lasca 5 Bolbo de percussão 6 Percutor macio de haste 7 Biface

A maioria das ferramentas de pedra são pedaços de rocha partidos de forma controlada para obter um gume que corta, raspa ou fende. São a tecnologia mais antiga que se conhece: as primeiras têm cerca de 3,3 milhões de anos, e algumas ainda se fabricavam no século XX.

O que é

Conta como tal qualquer pedra usada como ferramenta, do simples percutor à mó de moer, mas a maioria foi moldada tirando lascas para obter um gume ou uma ponta. A mais simples é uma lasca cortante tirada de um seixo e usada logo para cortar carne ou descascar um ramo. As mais apuradas, como uma ponta de lança fina ou um machado polido, exigiam horas de trabalho especializado.

Durante a maior parte da história humana, a pedra foi o principal material duro disponível. A madeira, o osso, a pele e as fibras trabalhavam-se com gumes de pedra. E como a pedra se conserva quase para sempre, estas ferramentas são também o principal registo que os arqueólogos têm da vida dos primeiros humanos.

Como funciona

As boas pedras para ferramentas são duras, frágeis e de grão muito fino, sem veios internos: sílex, chert, obsidiana (um vidro vulcânico) e alguns quartzitos. Quando uma destas pedras leva uma pancada perto de uma aresta, abre-se nela uma fissura em forma de cone, a mesma que um chumbinho deixa no vidro de uma janela. A fissura curva para a superfície e solta uma lasca. Esta fratura em forma de concha chama-se fratura concoidal e dá gumes muito finos e cortantes.

O talhador bate no núcleo numa superfície plana, o plano de percussão, perto da aresta. Onde o plano de percussão encontra a face do núcleo, o ângulo tem de ser inferior a 90 graus; caso contrário, a pancada só esmaga a aresta. A lasca solta guarda as marcas da pancada: uma saliência arredondada logo abaixo do ponto de impacto, o bolbo de percussão, e ondulações finas que se afastam dele. O núcleo fica com o negativo côncavo, que pode servir de plano de percussão para a pancada seguinte.

Retoque por pressão: uma ponta de haste solta pequenas lascas da aresta enquanto o couro protege a palma.

Três técnicas permitem dosear o resultado. O percutor duro, em geral um seixo de quartzito, tira lascas grandes e grossas. O percutor macio, de haste de veado, osso ou madeira dura, tira lascas mais longas e finas e serve para adelgaçar e dar forma. O retoque por pressão encosta uma ponta de haste à aresta até saltar uma lasca pequena; dá a forma final e um gume direito e vivo.

Como fabricar

O talhe aprende-se praticando, e as primeiras horas produzem sobretudo pedra partida. É preciso nódulos de sílex ou chert, ou blocos de obsidiana ou de vidro grosso de garrafa; dois ou três percutores de pesos diferentes; um percutor de haste de veado e uma ponta de haste; uma almofada grossa de couro; óculos de proteção; luvas de couro; e um oleado para recolher os restos.

Escolher a pedra. Procurar um nódulo sem fissuras, buracos ou zonas de grão grosso. Bater-lhe levemente com um seixo pequeno: um som claro indica pedra sã, um som surdo defeitos escondidos.

Encontrar um plano de percussão. Localizar uma aresta onde duas superfícies se encontram a menos de 90 graus. Bater um pouco para dentro dessa aresta, alguns milímetros para uma lasca fina e mais para uma grossa, com uma pancada curta e firme que continua para fora, afastando-se do núcleo. Apoiar o núcleo na almofada em cima da coxa, nunca na palma da mão nua.

Fazer uma ferramenta sobre lasca. Uma única lasca boa já é uma faca. Usa-se tal como está, ou retoca-se o dorso com pequenas pancadas para se segurar melhor.

Dar forma a um biface. Percorrer o contorno de um nódulo achatado tirando lascas alternadamente de uma face e da outra, para que a aresta se torne uma linha ondulada a meio da peça. Passar para o percutor de haste para adelgaçar as faces. Antes de cada pancada, desgastar ligeiramente a aresta com uma pedra áspera para não se esmigalhar.

Acabar por pressão. Segurar a peça sobre a almofada, pressionar a ponta de haste para baixo e para dentro contra a aresta e tirar pequenas lascas umas atrás das outras para endireitar e afiar o gume.

> **Segurança.** As lascas acabadas de soltar cortam mais do que uma navalha e saltam depressa. Usar sempre óculos de proteção e proteger mãos e coxas com couro. Trabalhar ao ar livre ou num local bem ventilado e não respirar o pó fino: o sílex e o chert são sílica, e anos de pó provocam silicose, que matou muitos talhadores profissionais de pederneiras. Recolher os restos no oleado, humedecer o pó em vez de o varrer a seco e guardar as lascas cortantes numa lata ou num balde fechado. Manter crianças e animais afastados.

História e evolução

Ferramentas olduvaienses: um seixo com gume irregular, as lascas tiradas dele e o percutor.

As ferramentas de pedra mais antigas que se conhecem vêm de Lomekwi 3, a oeste do lago Turkana, no Quénia. Têm cerca de 3,3 milhões de anos, mais do que os fósseis mais antigos conhecidos do género *Homo*. A equipa encontrou 149 núcleos, lascas, percutores e possíveis bigornas, feitos com gestos simples, próximos do esmagamento. Não se sabe quem os fez; *Kenyanthropus* e *Australopithecus* viviam então na região.

As ferramentas olduvaienses surgem em vários sítios da África Oriental a partir de há cerca de 2,6 milhões de anos, e talvez já há 2,9 milhões de anos em Nyayanga, no Quénia: seixos a que se tiravam algumas lascas, as próprias lascas cortantes e percutores. Há cerca de 1,7 milhões de anos, também na África Oriental, surgem os primeiros bifaces geralmente aceites, ferramentas grandes trabalhadas nas duas faces em forma de gota, com um gume comprido. Continuaram a ser feitos durante mais de um milhão de anos, em África, na Europa e na Ásia.

Mais tarde, os talhadores aprenderam a preparar um núcleo para que uma só pancada soltasse uma lasca de forma planeada. Há cerca de 200 000 anos, fixavam-se pontas em hastes de madeira para fazer lanças, e furadores e raspadores de pedra serviam para trabalhar peles e madeira. Na Europa e na Ásia Ocidental, entre há cerca de 50 000 e 10 000 anos, a lâmina comprida e fina tornou-se o suporte habitual. Os micrólitos, pequenos segmentos de lâmina encaixados em fila em cabos e flechas, surgem no sul de África há cerca de 71 000 anos e generalizaram-se em muitas regiões no fim da última glaciação.

No Neolítico, as lâminas de machado eram polidas sobre arenito para ficarem mais resistentes.

Os agricultores do Neolítico, a partir de cerca de 10 000 a.C., poliam machados de pedra para desbravar a floresta. O metal substituiu a pedra devagar e nunca por completo. Em Brandon, Inglaterra, talharam-se pederneiras para espingardas até ao século XX, e lâminas de obsidiana ainda são usadas em algumas cirurgias delicadas, porque o seu gume é mais fino do que o dos bisturis de aço.

Números-chave

Ferramentas de pedra mais antigas
Cerca de 3,3 milhões de anos, Lomekwi 3 (Quénia)

Primeiros bifaces
Há cerca de 1,7 milhões de anos, África Oriental

Vida do biface
Fabricado durante mais de um milhão de anos

Um ofício lítico tardio
Pederneiras de espingarda, produzidas em quantidade em Brandon (Inglaterra) até ao século XX

Fontes

1. Stone Tools · Smithsonian National Museum of Natural History, Human Origins Program https://humanorigins.si.edu/evidence/behavior/stone-tools
2. Scientists Discover World's Oldest Stone Tools · Columbia Climate School, State of the Planet https://news.climate.columbia.edu/2015/05/20/scientists-discover-worlds-oldest-stone-tools/
3. Small, lethal tools have big implications for early modern human complexity · Arizona State University https://news.asu.edu/content/small-lethal-tools-have-big-implications-early-modern-human-complexity
4. Stone tool · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_tool
5. Knapping · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Knapping
6. Introducing a new experimental design for controlled studies of flake formation: results for exterior platform angle, platform depth, angle of blow, velocity, and force · Journal of Archaeological Science https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.05.004
7. A Synthesis of the Dibble et al. Controlled Experiments into the Mechanics of Lithic Production · Journal of Archaeological Method and Theory https://doi.org/10.1007/s10816-022-09586-2
8. The results of lithic experiments performed on glass cores are applicable to other raw materials · Archaeological and Anthropological Sciences https://doi.org/10.1007/s12520-019-00963-9

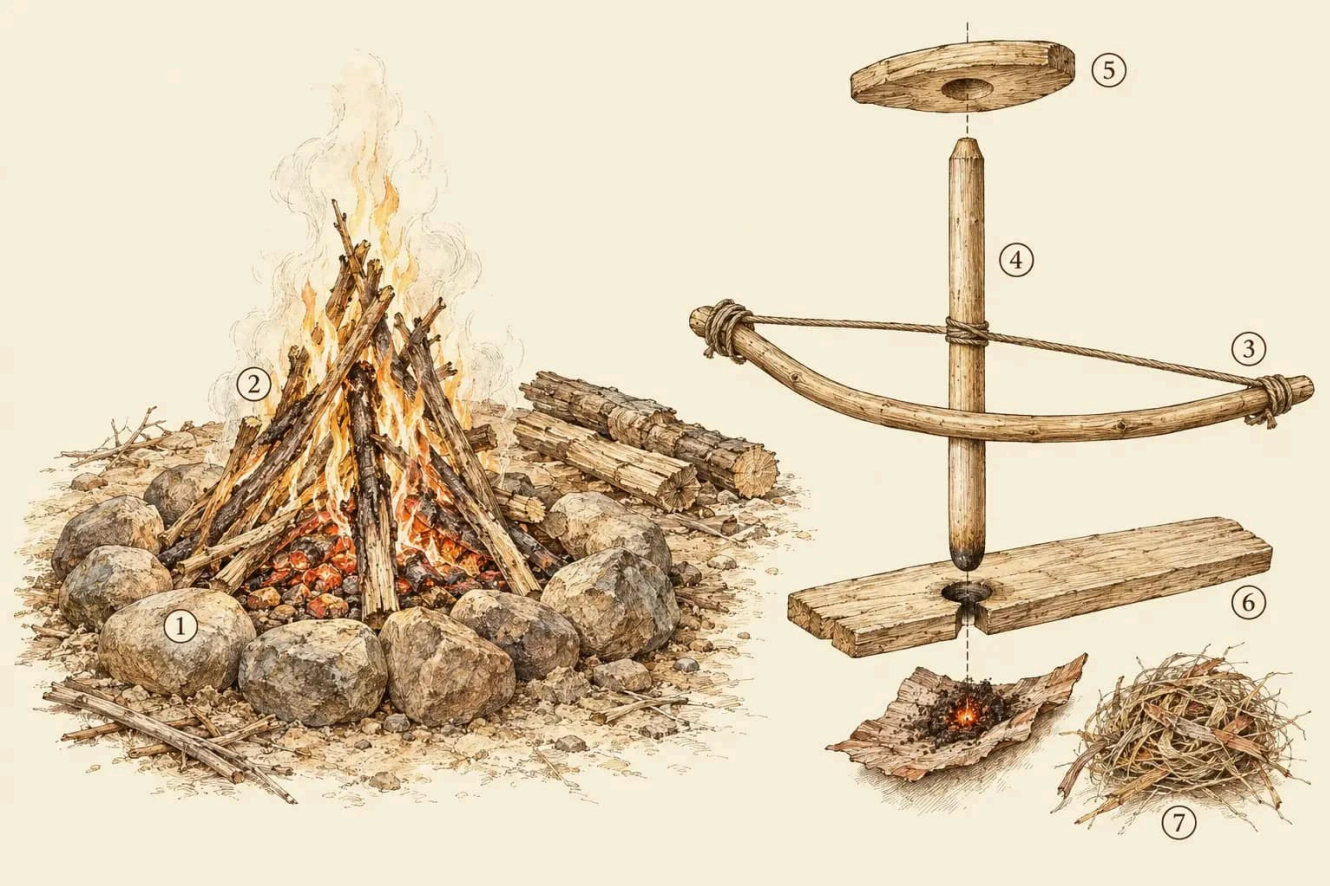
Factos verificados em 2026-10-11

Domínio do fogo

Luz, calor e cozinha

há 1 milhão de anos · Pré-história · Sobrevivência

Conduz a: Pão (p. 27), Bronze (p. 123), Conservas e pasteurização (p. 248), Carvão vegetal (p. 65), Destilação (p. 173), Água potável (p. 35), Tingimento (p. 69), Pólvora (p. 181), Balão de ar quente (p. 231), Curtimento do couro (p. 101), Cal e argamassa de cal (p. 31), Cerâmica (p. 23), Betão romano (p. 165), Sabão (p. 93), Borracha vulcanizada (p. 290)



1 Pedras da lareira 2 Lenha 3 Arco 4 Fuso 5 Peça de apoio 6 Tábua de base e entalhe 7 Ninho de isca

Dominar o fogo é saber mantê-lo aceso, transportá-lo e, por fim, acendê-lo à vontade. Os antepassados humanos já usavam o fogo há pelo menos um milhão de anos, e ele dava-lhes calor, luz, proteção e comida cozinhada.

O que é

O fogo é uma reação química: um combustível combina-se com o oxigénio do ar e liberta calor e luz. Dominá-lo foi uma aprendizagem por etapas. Primeiro, guardar um fogo aceso pela natureza, depois de um raio ou de um incêndio no mato. Depois, transportá-lo e alimentá-lo durante dias. Por fim, acendê-lo sempre que fosse preciso.

O fogo aquece durante a noite e permite viver em regiões mais frias. Ilumina as grutas, afasta os animais, endurece as pontas das lanças de madeira e cozinha os alimentos. A carne e os tubérculos cozinhados ficam mais macios e fornecem mais energia na digestão do que crus.

Como funciona

Um fogo precisa de três coisas ao mesmo tempo: combustível, oxigénio e calor suficiente para manter a reação. Se faltar uma, apaga-se.

A madeira não arde diretamente. O calor decompõe-na primeiro em gases inflamáveis e deixa carvão. Os gases ardem na chama, por cima da madeira, e o carvão brilha em baixo. É por isso que se monta um fogo do mais pequeno para o maior: os gravetos finos e secos aquecem depressa, libertam gás e levam os ramos mais grossos à temperatura certa.

Há duas maneiras tradicionais mais comuns de fazer fogo. Os métodos de fricção esfregam uma madeira contra outra até se juntar um pó de madeira fino e quente que começa a brilhar. O berbequim de mão roda um pau entre as palmas; o berbequim de arco, desenhado na prancha, faz o mesmo com um cordão enrolado no fuso, mais depressa e com menos esforço. Esse pó incandescente é uma brasa. Pousada num ninho de erva seca e casca desfiada e soprada com cuidado, transforma-se em chama.

O sílex batido contra a pirite solta faíscas quentes o bastante para pôr a isca seca em brasa.

Os métodos de percussão produzem faíscas. Quando a aresta dura de um sílex bate na pirite, arranca grãos minúsculos do mineral, que ardem no ar. Sílex contra sílex quase não dá nada. As faíscas são pequenas e breves, por isso precisam de uma isca que pegue com facilidade, como a camada interior do fungo-isca, seca e batida até ficar macia e fofa.

Como fazer

No berbequim de mão, as palmas rodam um pau para um lado e para o outro até a serradura do entalhe começar a brilhar.

O berbequim de arco é o método de fricção mais fiável para aprender. É preciso uma faca ou uma lasca de pedra afiada, um cordão e madeira seca, morta e semimacia, como salgueiro, tília, choupo ou cedro.

Preparar a lareira. Escolher chão nu e plano, longe de ramos baixos e de erva seca. Limpar de erva, folhas e gravetos um círculo com uns três metros de diâmetro e rodear a cova com pedras. Juntar tudo antes de começar: dois punhados de isca, um molho de gravetos finos como um lápis e depois paus da grossura de um polegar e de um pulso.

Talhar o equipamento. O fuso é um pau direito com cerca de 20 cm e a grossura de um polegar, arredondado em cima e rombo em baixo. A tábua de base é uma peça plana com cerca de 2 cm de espessura. A peça de apoio é um bocado de madeira mais dura ou uma pedra do tamanho da palma, com uma pequena cavidade na face de baixo; um pouco de gordura ou uma folha verde nessa cavidade impede que a ponta de cima do fuso aqueça. O arco é uma vara rígida e ligeiramente curva, do comprimento do braço, com o cordão apenas frouxo o suficiente para dar uma volta ao fuso; depois de enrolado, tem de o apertar com firmeza.

Queimar a cavidade e abrir o entalhe. Furar uma cavidade pouco funda perto da borda da tábua até ficar negra e depois cortar um entalhe em V da cavidade até à borda, com cerca de um oitavo do círculo. Pôr um bocado de casca debaixo do entalhe para recolher o pó.

Furar. De joelhos, com um pé em cima da tábua e o pulso que segura a peça de apoio encostado à canela, carregar com firmeza na peça de apoio e mover o arco em passagens longas e regulares. Acelerar quando a cavidade fumegar. Quando o entalhe estiver cheio de um pó escuro que continua a fumegar sozinho, a brasa está feita.

Fazer nascer a chama. Despejar a brasa no ninho de isca, fechá-lo e soprar devagar até pegar fogo. Pousá-lo na cova, encostar gravetos por cima em forma de cone e só juntar lenha grossa quando os gravetos estiverem a arder bem.

> **Segurança.** Em erva seca ou com vento, o fogo corre mais depressa do que uma pessoa. Nunca acender fogo em período de seca, de proibição ou com vento forte, e ter água ou terra solta à mão. Não rodear a cova com seixos de rio molhados: a água presa pode fazê-los rebentar. Nunca deixar um fogo sozinho. Para o apagar, encharcá-lo, mexer as cinzas e voltar a encharcá-lo até tudo, incluindo as brasas enterradas, estar frio ao toque. Praticar só ao ar livre: um fogo aberto num abrigo ou numa gruta enche o ar de fumo e de monóxido de carbono, que podem matar.

História e evolução

Os vestígios de fogo mais antigos e bem estabelecidos num contexto humano vêm da gruta de Wonderwerk, na África do Sul. Em 2012, uma equipa encontrou ali cinza microscópica e ossos queimados em camadas com cerca de um milhão de anos, junto de utensílios de pedra acheulenses, provavelmente feitos por *Homo erectus*. Um estudo publicado em 2026 identificou ossos queimados mais abaixo na mesma sequência, em camadas datadas de 1,07 a 1,79 milhões de anos, a cerca de 30 metros para o interior da gruta, onde nenhum incêndio natural podia chegar. Indícios mais antigos no Quénia, por volta de 1,5 milhões de anos, assentam em solos avermelhados que um fogo natural também poderia explicar.

Em Gesher Benot Ya'aqov, em Israel, sementes, madeira e concentrações de sílex queimado sugerem fogos mantidos em locais fixos há cerca de 790 000 anos. As lareiras bem definidas só se tornam frequentes entre há cerca de 400 000 e 300 000 anos, em África, no Próximo Oriente e na Europa. Até lá, as pessoas provavelmente recolhiam o fogo de incêndios naturais e mantinham-no vivo.

A prova mais antiga de acender fogo vem de Barnham, no Suffolk (Inglaterra), e foi publicada em 2025. Há cerca de 400 000 anos, alguém aqueceu ali repetidamente a mesma mancha de argila acima de 700 °C. Ficaram bifaces estalados pelo fogo e dois pedaços de pirite, um mineral tão raro naquela paisagem que terá sido levado para ali de propósito. O recorde anterior, em sítios neandertais do norte de França, tinha cerca de 50 000 anos.

Os arqueólogos leem os fogos antigos em corte: cinza e carvão por cima de uma terra avermelhada pelo calor.

Números-chave

Vestígios mais antigos de uso do fogo
Há cerca de 1 milhão de anos, gruta de Wonderwerk (África do Sul), talvez até 1,8 milhões

Prova mais antiga de acender fogo
Há cerca de 400 000 anos, Barnham (Inglaterra)

Uso habitual
Generalizado a partir de há cerca de 400 000–300 000 anos

Temperatura da lareira de Barnham
Mais de 700 °C

Fontes

1. Control of fire by early humans · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Control_of_fire_by_early_humans
2. Evidence that human ancestors used fire one million years ago · ScienceDaily (University of Toronto) https://sciencedaily.com/releases/2012/04/120402162548.htm
3. Early humans were bringing fire into caves 1.8 million years ago · ScienceDaily (Hebrew University of Jerusalem) https://sciencedaily.com/releases/2026/06/260623083123.htm
4. Evidence of Hominin Control of Fire at Gesher Benot Ya'aqov, Israel (Science, 2004) · Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/evidence-of-hominin-control-of-fire-at-gesher-benot-yaaqov-israel/
5. Earliest fire making, dating back 400,000 years, unearthed in Suffolk · Natural History Museum, London https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2025/december/earliest-fire-making-dating-back-400-000-years-unearthed-in-suffolk-england.html
6. Research shows humans making fire 350,000 years earlier than thought · University of Liverpool https://news.liverpool.ac.uk/?p=131468
7. Wood Handbook, chapter 4: Moisture Relations and Physical Properties of Wood (FPL-GTR-190) · USDA Forest Service, Forest Products Laboratory https://research.fs.usda.gov/download/treesearch/37428.pdf
8. The Physics of Fire by Friction · University of Dayton (Bradley D. Duncan) https://ecommons.udayton.edu/ece_fac_pub/418
9. Lighting a fire using friction requires an understanding of some physics principles · University of Dayton Magazine https://udayton.edu/magazine/2023/12/lighting-fire.php
10. Ignition of Wood (Vytenis Babrauskas) · Fire Science and Technology Inc., via CFITrainer.net https://www.cfitrainer.net/programs/35a84de0-e505-4899-be34-f31de9d9d570/document/2005_CCAI_Wood_ignition.pdf

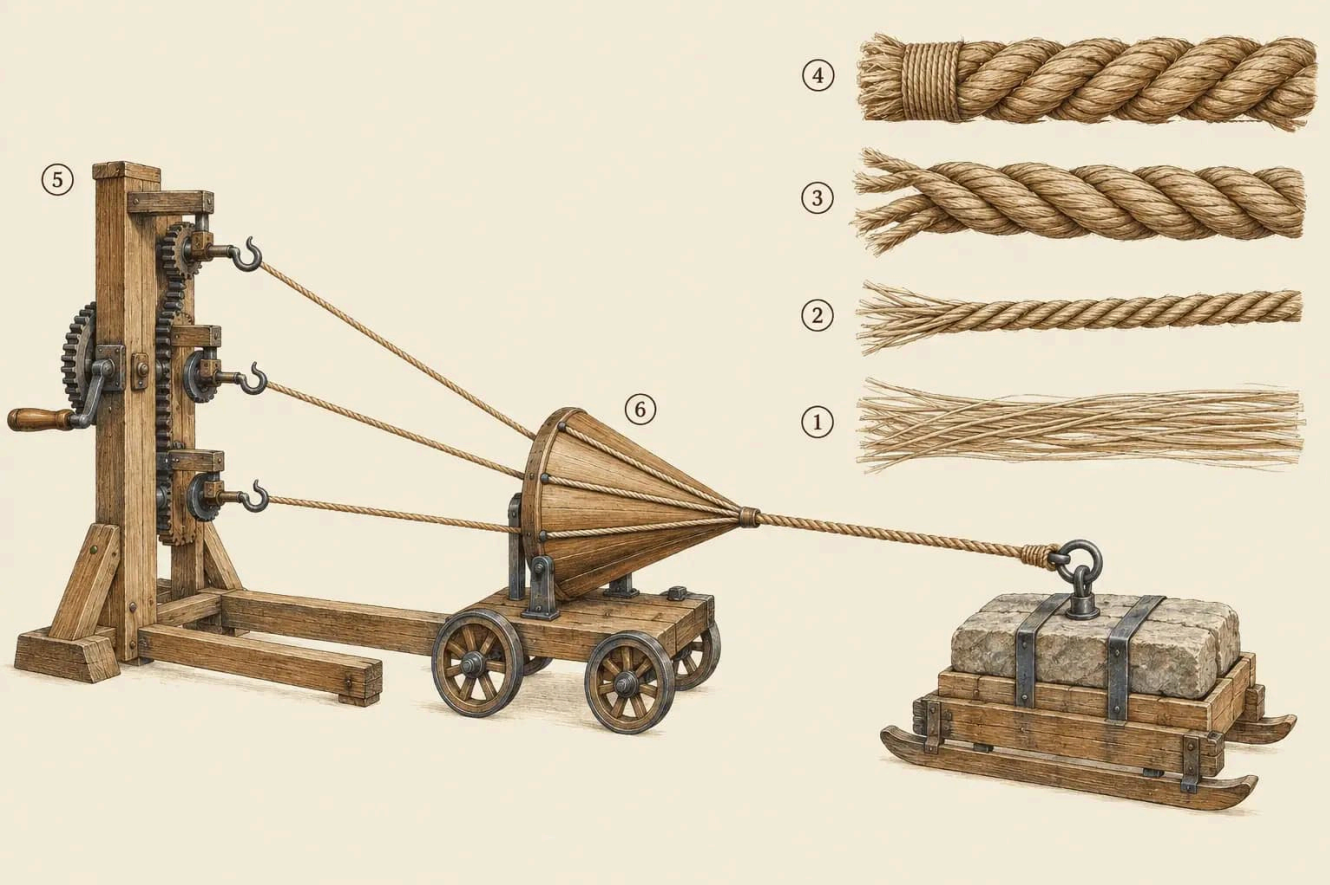
Factos verificados em 2026-10-11

Corda e cordame

Fibras torcidas que seguram tudo

há 50.000 anos · Pré-história · Sobrevivência

Conduz a: Arco e flechas (p. 18), Grua e roldana (p. 149), Água potável (p. 35), Tingimento (p. 69), Coelheira (p. 177), Irrigação (p. 52), Medidas e padrões (p. 127), Arado (p. 61), Vela (p. 89), Roda de fiar (p. 189), Tecelagem (p. 44), Moinho de vento (p. 185)



1 Fibras 2 Fio de carreta 3 Cordão 4 Cabo de três cordões 5 Manivela e ganchos 6 Pião (guia)

Uma corda tradicional é feita de fibras curtas torcidas em fios, os fios em cordões e os cordões em corda, até formarem uma linha muito mais comprida e resistente do que qualquer fibra isolada. Os neandertais já torciam cordel há mais de 40 000 anos, e desde então a corda serve para atar, puxar, levantar e aparelhar.

O que é

Uma corda é uma linha comprida e flexível que resiste à tração. A corda tradicional é feita de fibras que medem, cada uma, de poucos centímetros a cerca de um metro: caules e folhas de plantas, entrecasca, tendões ou pelos de animais. O que as mantém juntas é a torção. As cordas sintéticas modernas podem usar filamentos contínuos, e muitas são entrançadas em vez de torcidas.

A corda fina chama-se cordel, guita ou fio. A corda prende cargas, puxa barcos e pedras, estende redes e armadilhas e aparelha os navios à vela.

Como funciona

Uma fibra sozinha é fraca e curta. Quando muitas são torcidas juntas, a torção aperta-as umas contra as outras e o atrito impede-as de deslizar. Ao puxar o fio, ele fecha-se e aperta mais: quanto maior a carga, melhor segura.

Um fio torcido sozinho tende a destorcer-se. A solução é torcê-lo de novo no sentido contrário. As fibras são fiadas num sentido para formar fio de carreta; vários fios são torcidos no sentido oposto para formar um cordão; três cordões são cochados outra vez no primeiro sentido para formar o cabo. A torção residual de cada fase puxa no sentido contrário à da fase que tem dentro: as forças equilibram-se e a corda mantém a forma. O cabo de três cordões feito desta maneira chama-se cabo de massa.

Torção inversa: cada madeixa é torcida num sentido e depois cruzada sobre a outra no sentido contrário.

A mesma regra vale à escala mais pequena. Na torção inversa, um método manual simples, duas madeixas de fibra são torcidas cada uma num sentido e depois enroladas uma sobre a outra no sentido oposto: sai um cordel de dois cabos que não se desfaz. Uma corda comprida faz-se da mesma maneira, em ponto grande: uma manivela torce os cordões e um bloco de madeira com sulcos, o pião, mantém-nos separados até se cocharem atrás dele.

Como fabricar

As boas fibras para corda são compridas e fortes: urtiga, linho, cânhamo, entrecasca de tília ou de salgueiro, folhas de tabua, ou guita de algodão ou de cânhamo comprada para praticar.

Preparar a fibra. Cortar caules de urtiga no fim do verão, com luvas. Esmagá-los, abri-los, tirar o miolo lenhoso e soltar a pele exterior com as fibras. Deixá-las secar e humedecê-las ligeiramente antes de usar. A casca de tília precisa de várias semanas de molho antes de as camadas fibrosas se separarem.

Fazer cordel à mão. Pegar numa madeixa e dobrá-la um pouco ao lado do meio, para que as duas pontas fiquem com comprimentos diferentes. Apertar a dobra. Torcer a madeixa de cima afastando-a de si e depois passá-la por cima da de baixo, para si. Repetir, avançando a mão. Quando uma madeixa acaba, juntar-lhe um novo punhado de fibras e torcê-lo com ela; as pontas desencontradas evitam que duas emendas fiquem no mesmo sítio.

Montar uma cordoaria. Para uma corda mais grossa, fixar uma armação com três ganchos que uma manivela faz girar ao mesmo tempo. Esticar três troços iguais de cordel ou de fio desses ganchos até um único gancho giratório montado num trenó com lastro, na outra ponta. Travar por agora o giratório com uma cavilha e pôr o pião entre os cordões mesmo junto ao trenó, um cordão em cada sulco.

Torcer e cochar. Rodar a manivela no sentido que aperta a torção que o fio já tem, até cada cordão ficar duro e encaracolar quando se afrouxa. Tirar então a cavilha para o gancho giratório poder rodar. Continuar a rodar enquanto um ajudante leva devagar o pião em direção à armação: atrás dele, os cordões cocham-se sozinhos no sentido contrário, e o trenó avança à medida que a corda encurta.

Rematar as pontas. Atar bem cada ponta com fio fino, uma falcaça, antes de a cortar, senão os cordões descocham-se.

Segurança. Uma corda carregada acumula energia; se partir, as pontas voltam para trás com violência, por isso nunca ficar na linha de uma corda em tensão. Não usar corda feita em casa para escalar, para levantar pessoas ou para cargas por cima de alguém. A manivela também acumula torção: segurá-la ao parar, senão roda para trás. Usar luvas para as urtigas e quando a corda corre pelas mãos.

História e evolução

A ferramenta de marfim de Hohle Fels, reconstituída: as fibras passadas pelos quatro furos são torcidas em corda.

A prova direta mais antiga de um cordel vem do Abri du Maras, um abrigo rochoso na Ardèche, em França. Em 2020, investigadores descreveram um fragmento com cerca de 6 mm agarrado a uma ferramenta de pedra, feito de três madeixas de fibras de entrecasca, provavelmente de conífera, torcidas e depois unidas entre si. Tem entre 41 000 e 52 000 anos e foi feito por neandertais, que sabiam portanto torcer em dois sentidos opostos.

Na gruta de Hohle Fels, no sudoeste da Alemanha, os escavadores recuperaram uma tira de marfim de mamute com cerca de 20 cm, com quatro furos rodeados de sulcos em espiral, datada de há 35 000 a 40 000 anos. Em 2024, Nicholas Conard e Veerle Rots interpretaram-na como uma provável ferramenta de cordoaria: havia fibras vegetais presas nos sulcos, e um bastão semelhante da gruta vizinha de Geißenklösterle tem sulcos gastos como pela passagem de fibras. Com réplicas, equipas de quatro ou cinco pessoas fizeram cerca de 5 metros de corda resistente em 10 minutos; as folhas de tabua deram muito bons resultados.

As sociedades agrícolas fizeram corda a uma escala muito maior. Os egípcios faziam cordas de junco, papiro, fibra de palmeira e linho, e equipas a puxar cordas deslocavam as pedras dos monumentos. Em Wadi Gawasis, um porto faraónico no mar Vermelho, os arqueólogos encontraram rolos de cabos de navio, bem atados e guardados em grutas escavadas para as expedições à terra de Punt.

Na Europa, da Idade Média ao século XIX, as marinhas à vela faziam os seus cabos em cordoarias, edifícios compridos o bastante para cochar uma corda inteira numa só peça. A cordoaria do arsenal de Chatham, em Inglaterra, tem quase 350 metros, e ali se faz corda há mais de 400 anos. A corda de nylon surgiu durante a Segunda Guerra Mundial e, a partir dos anos 1950, as fibras sintéticas tomaram a maior parte dos usos do cânhamo e do abacá.

O lais de guia forma uma alça fixa, a volta de fiel amarra a um poste e o nó direito aperta um feixe; não serve para unir duas cordas com carga.

Números-chave

Cordel mais antigo conhecido
41 000–52 000 anos, Abri du Maras (França)

Provável ferramenta de cordoaria antiga
35 000–40 000 anos, Hohle Fels (Alemanha)

Construção habitual
3 cordões, torção invertida em cada fase

Ritmo pré-histórico (réplica da ferramenta)
Cerca de 5 m de corda em 10 minutos, com 4 a 5 pessoas

Fontes

1. Neanderthal cord weaver · CNRS https://www.cnrs.fr/en/press/neanderthal-cord-weaver
2. Rope making in the Aurignacian of Central Europe more than 35,000 years ago · Science Advances (PubMed Central) https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10830101/
3. Archaeologist Kathryn Bard's amazing Egyptian digs · Boston University https://www.bu.edu/articles/2009/archaeologist-kathryn-bard%e2%80%99s-amazing-egyptian-digs/
4. The Ropery · The Historic Dockyard Chatham https://thedockyard.co.uk/attractions/the-ropery
5. Rope · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Rope
6. Ropewalk · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ropewalk
7. The ancient art of laying rope · Europhysics Letters (arXiv) https://arxiv.org/abs/1004.0814
8. Plymouth Cordage Company Ropewalk · Mystic Seaport Museum https://mysticseaport.org/?p=355570
9. Hawser-laid · Practical Boat Owner https://www.pbo.co.uk/nautical-almanac/glossary-of-nautical-terms/hawser-laid-9204
10. Three strand hawser laid rope · Lifting Equipment Engineers Association https://copsule.leeaint.com/copsule/en-GB/latest/id-b54f2a33-5063-40e7-f243-517683d1bf63.html

Factos verificados em 2026-10-11

II

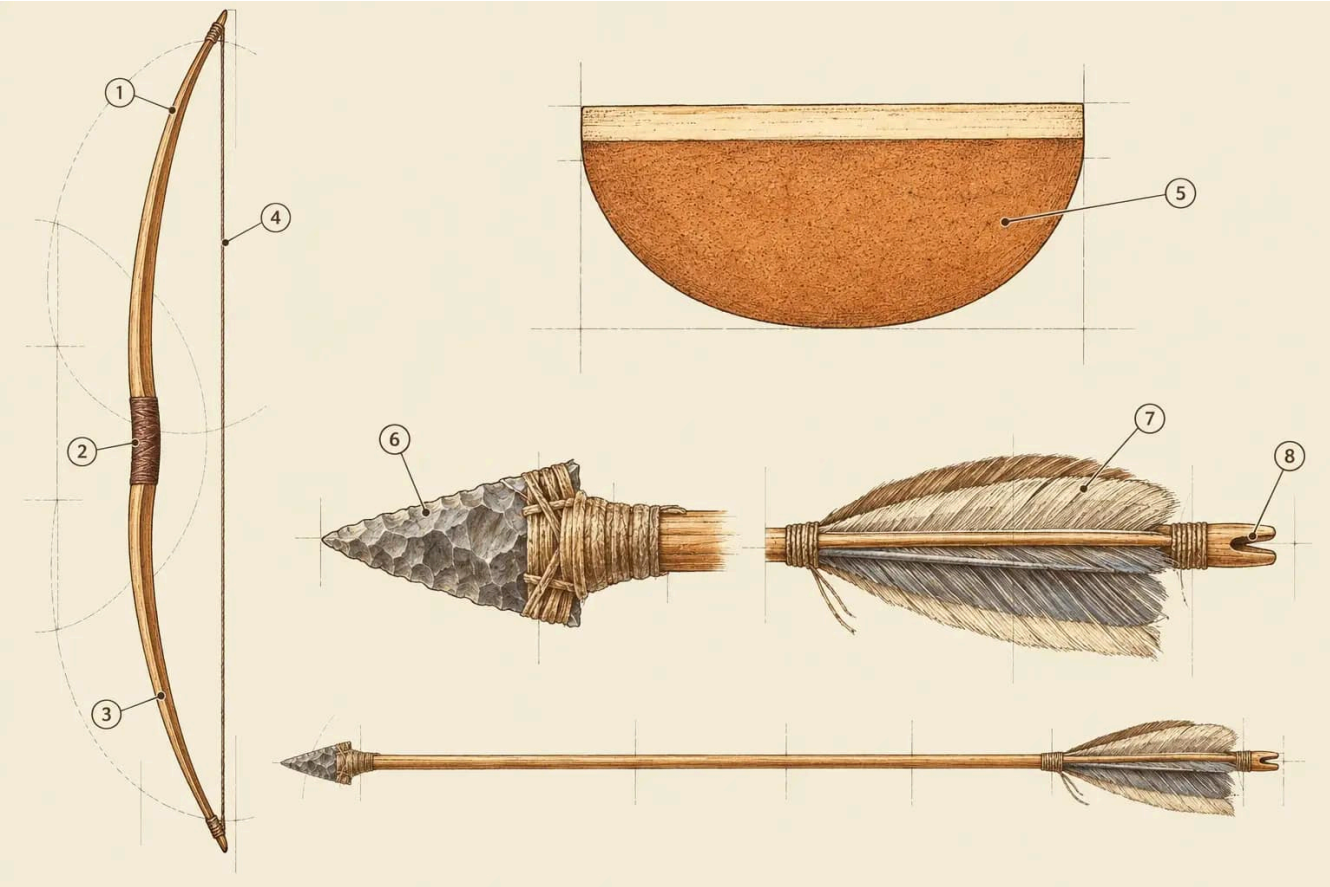
Fixação

Arco e flechas

Energia armazenada libertada à distância

há 62.000 anos · Pré-história · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)



1 Braço superior 2 Punho 3 Braço inferior 4 Corda 5 Secção de um braço: alburno no dorso, cerne no ventre
6 Ponta de sílex atada com tendão 7 Emplumagem 8 Entalhe

O arco acumula nos braços curvados o esforço que o arqueiro faz ao puxar a corda e devolve-o numa fração de segundo, lançando a flecha muito mais depressa e mais longe do que uma mão a conseguiria atirar. Pequenas pontas de pedra da África do Sul sugerem que já se disparavam flechas há cerca de 64 000 anos, e o arco continuou a ser uma arma de caça e de guerra até as armas de fogo o substituírem.

O que é

Um arco é uma vara flexível, quase sempre de madeira, com uma corda presa entre as duas pontas, e funciona como uma mola que se segura na mão. Quando se puxa a corda, a vara dobra-se; quando se larga, a vara endireita-se e a corda lança a flecha para a frente. A flecha é uma haste leve e direita, com uma ponta afiada à frente e penas atrás que a mantêm a voar com a ponta para a frente.

O arco da prancha é um arco simples, feito de uma única peça de madeira, do tipo do arco longo inglês: uma vara de teixo mais ou menos da altura do arqueiro, plana no dorso e arredondada no ventre, de modo que a secção tem a forma de um D. Muitos outros arcos combinam vários materiais. Os arcos compósitos da Ásia são feitos de

chifre, madeira e tendão colados entre si, e vários povos da América do Norte colavam uma camada de tendão ao longo do dorso de um arco de madeira.

Como funciona

As duas faces de um arco dobrado trabalham em sentidos opostos. O dorso, a face virada para o lado contrário ao arqueiro, é esticado; o ventre, virado para o arqueiro, é comprimido. A madeira resiste aos dois esforços, e por isso o trabalho feito para puxar a corda fica armazenado nos braços do arco sob a forma de energia elástica, tal como numa mola a que se dá corda. Um arco de caça pede normalmente uma tração de cerca de 180 a 270 newtons (40 a 60 libras) na abertura máxima, e os pesados arcos de guerra pediam muito mais.

O teixo serve bem para o arco simples porque o seu tronco tem dois tipos de madeira. O alburno, claro e logo por baixo da casca, aguenta bem o estiramento, e o cerne, mais escuro, aguenta bem a compressão. Os fabricantes de arcos deixam uma camada de alburno no dorso e cerne no ventre, como mostra a secção da prancha. Com a maioria das outras madeiras, o arco é talhado só no alburno ou só no cerne, e o dorso segue um único anel de crescimento a todo o comprimento.

Quando o arqueiro solta a corda, os braços saltam para a frente e a corda empurra a flecha. Nem toda a energia acumulada chega à flecha, porque os braços e a corda também se movem e ficam com parte dela. Braços leves, que dobram por igual, desperdiçam menos do que braços pesados. Com um arco de madeira, a flecha sai normalmente a uma velocidade de 40 a 60 metros por segundo.

O impulso é tão brusco que a flecha se dobra e vibra ao partir, contornando o punho do arco. Os arqueiros chamam a isto o paradoxo do arqueiro. Para a flecha voar direita, a sua rigidez, a que se chama spine, tem de estar adequada à potência do arco, tendo em conta o comprimento da flecha e o peso da ponta, dois fatores que mudam o quanto ela flete. As penas criam resistência do ar atrás do ponto de equilíbrio da flecha, de modo que qualquer oscilação faz a ponta regressar à linha de voo, como acontece com as aletas de um dardo. Uma ponta mais pesada desloca o ponto de equilíbrio para a frente e estabiliza o voo, mas também faz a haste fletir mais.

Como construir

Para um arco simples são precisos uma machadinha ou uma faca de dois cabos, uma grosa, um raspador, uma faca, uma corda comprida, uma balança de mola e um poste de afinação: um poste vertical com um apoio para o punho no topo e uma série de encaixes ao longo da altura.

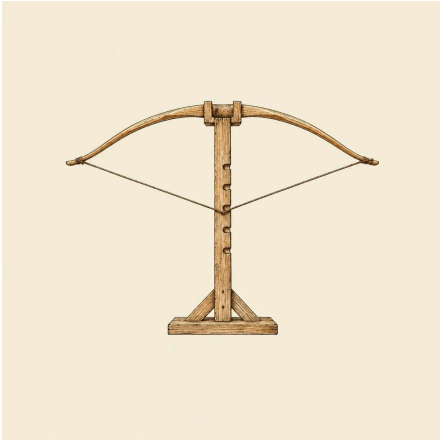
Escolher a vara. Procure um pedaço de madeira rija e elástica, de fio direito, sem nós nem torções: teixo, laranjeira-de-osage, ulmeiro, freixo, hickory ou ácer. Fenda-o a partir do tronco em vez de o serrar, para que o fio corra a todo o comprimento. Vede as pontas e deixe-o secar devagar, ao abrigo, durante vários meses, de preferência um ano.

Preparar o dorso. O dorso é a face que estava por baixo da casca. Na maioria das madeiras, tire a casca e siga um mesmo anel de crescimento a todo o comprimento sem o cortar: é num anel cortado que o arco parte. No teixo, deixe uma camada fina de alburno.

Desbastar a forma. Marque uma linha central e desenhe o contorno: um punho estreito e grosso ao meio e braços que afinam em direção às pontas. Num arco longo, a vara tem mais ou menos a altura do arqueiro. Retire madeira apenas do ventre, até cada braço fletir um pouco quando se apoia a ponta no chão e se empurra o punho.

Afinar o arco. Abra ranhuras para a corda perto das pontas, monte uma corda comprida e pouse o arco pelo punho no poste de afinação. Puxe a corda para baixo um encaixe de cada vez, leia a tração na balança e observe a

curva. Nunca puxe com mais força do que a potência que pretende, ou a vara ainda por acabar fica sobrecarregada. Os dois braços devem dobrar em arcos suaves e regulares, sem zonas rígidas nem dobras bruscas. Deixe a corda subir devagar e tire o arco do poste antes de lhe tocar com uma ferramenta: nunca raspe um braço que esteja sob carga. Depois raspe o ventre onde um braço está demasiado rígido, poucas aparas de cada vez, e faça fletir o arco uma dúzia de vezes entre cada passagem. Pare um pouco antes de chegar à sua abertura completa e à potência desejada. É a fase mais lenta. Um troço curto que dobra mais do que o resto, uma dobradiça, sofre esforço a mais, e é aí que um arco tende a rachar.



No poste de afinação, o arco é puxado um pouco mais a cada passo, para se poder comparar a curva dos dois braços.

Fazer a corda. Torça a corda com linho, cânhamo, tendão ou fio moderno de poliéster, com uma laçada fixa numa ponta e um nó de lenhador na outra. Com o arco armado, a distância entre a corda e o punho deve ser mais ou menos a largura de uma mão. Volte a pôr o arco armado no poste de afinação, já com a corda definitiva, e puxe-o por etapas até à abertura completa: os dois braços devem continuar a dobrar por igual e a balança deve marcar a potência prevista. Retire as últimas aparas apenas onde esta verificação revelar uma zona rígida, sempre com a corda solta e o arco fora do poste.

Três penas da mesma asa, coladas e atadas nas pontas, mantêm a flecha a voar direita.

Fazer as flechas. Corte rebentos direitos de sanguinho, viburno ou aveleira, ou fenda hastes a partir de um tronco direito. Endireite-as sobre um calor brando e raspe-as até ficarem redondas. Separe-as pela rigidez, corte-as todas com o mesmo comprimento e monte pontas do mesmo peso, para que as flechas disparadas pelo mesmo arco voem da mesma maneira. Faça cada flecha com comprimento suficiente para a sua abertura completa, de modo que a ponta fique ainda à frente do arco com a corda toda puxada. Abra um entalhe para a corda na traseira. À frente, ate uma ponta de pedra, osso ou metal com tendão e uma cola como o alcatrão de vidoeiro, ou use uma ponta romba de madeira para treino. Cole três penas da mesma asa ao longo da haste, perto do entalhe, a intervalos iguais, e ate-lhes as pontas.

> **Segurança.** Um arco é uma arma, seja qual for a sua potência. Nunca aponte para ninguém e dispare apenas numa carreira de tiro com uma barreira atrás dos alvos e ninguém para lá dela. Nunca solte uma corda puxada sem flecha: a energia vai toda para o arco, que pode partir e projetar lascas. Use óculos de proteção durante a afinação e os ensaios, verifique antes de cada sessão se o arco, a corda e as hastes e os entalhes das flechas têm fendas, e use flechas suficientemente compridas e rígidas para o arco. O pó de teixo é tóxico e os outros pós de madeira podem fazer mal aos pulmões e à pele, por isso aspire o pó na origem e use uma máscara bem ajustada, com um filtro adequado, quando passar a grosa e lixar, mesmo ao ar livre; tenha cuidado com a fonte de calor ao endireitar as hastes. A caça com arco é regulamentada ou proibida em muitos países.

História e evolução

Arcos e flechas são feitos de madeira, tendão e penas, materiais que raramente se conservam, por isso o tiro com arco mais antigo lê-se nas pontas de pedra. Na gruta de Sibudu, no KwaZulu-Natal, na África do Sul, pequenas pontas de pedra com cerca de 64 000 anos mostram danos de impacto, vestígios de sangue e de osso e restos da cola de resina vegetal que as prendia a uma haste, o que sugere que armavam flechas. Alguns investigadores

propuseram pontas mais antigas, com cerca de 74 000 anos, em Shinfa-Metema 1, na Etiópia, uma interpretação que estudos posteriores ainda não confirmaram. Na Europa, o indício provável mais antigo vem da gruta Mandrin, no sul de França: pontas de sílex com cerca de 54 000 anos, deixadas por humanos modernos e demasiado pequenas para terem sido atiradas à mão.

As hastes de flecha mais antigas que se conhecem, de pinho, vêm de Stellmoor, perto de Hamburgo, e têm cerca de 12 000 anos. O arco completo mais antigo, de ulmeiro, foi encontrado na turfeira de Holmegaard, na Dinamarca, e data de cerca de 7000 a.C. Ötzi, o homem que morreu nos Alpes há uns 5300 anos, levava uma vara de teixo inacabada e uma aljava de pele de veado com 14 flechas; só duas estavam acabadas, com pontas de sílex e penas fixadas com alcatrão de vidoeiro e fibra vegetal.

Nas estepes da Ásia e no Próximo Oriente, os fabricantes de arcos criaram o arco compósito, colado a partir de uma alma fina de madeira, com chifre no ventre e tendão no dorso. É mais curto do que um arco simples com a mesma potência, o que convinha aos arqueiros que atiravam de carros de guerra e a cavalo, e armou os citas, os hunos, os mongóis e os turcos otomanos.

Desarmado, o arco compósito curva-se para a frente, para longe do arqueiro; ao armá-lo, dobra-se ao contrário e acumula energia antes mesmo de se puxar a corda.

Na Europa Ocidental, o arco longo de teixo serviu os exércitos ingleses em Crécy, em 1346, e em Azincourt, em 1415. Dos destroços do *Mary Rose*, o navio de guerra de Henrique VIII que se afundou em 1545, recuperaram-se 172 arcos longos, cada um talhado numa única peça de teixo e com até 2,11 m de comprimento. As armas de fogo demoravam mais a carregar, mas um soldado aprendia a usá-las muito mais depressa do que se formava um arqueiro, e ao longo dos séculos XVI e XVII as armas de fogo afastaram o arco dos campos de batalha europeus. Continuou a ser uma arma de caça em muitas partes do mundo, e o tiro com arco tornou-se um desporto, praticado hoje com arcos de fibra de vidro e de carbono e com arcos compostos, que usam roldanas.

Números-chave

Primeiras pontas de flecha
Há cerca de 64 000 anos, gruta de Sibudu, África do Sul

Arco completo mais antigo
Holmegaard, Dinamarca, em ulmeiro, cerca de 7000 a.C.

O equipamento de Ötzi
Vara de teixo inacabada de 1,82 m, 14 flechas, duas delas acabadas

Arcos longos do Mary Rose (afundado em 1545)
172 recuperados, potência estimada entre 65 e 175 libras (290 a 780 N)

Fontes

1. Indications of bow and stone-tipped arrow use 64 000 years ago in KwaZulu-Natal, South Africa · Antiquity (Lombard and Phillipson, 2010) https://resolve.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/indications-of-bow-and-stonetipped-arrow-use-64-000-years-ago-in-kwazulunatal-south-africa/89AF638BE5E64CEAC63363EFDD4D5E8F
2. Surviving a volcanic supereruption may have facilitated human dispersal out of Africa · University of Texas at Austin https://news.utexas.edu/2024/03/20/surviving-a-volcanic-supereruption-may-have-facilitated-human-dispersal-out-of-africa/
3. Earliest likely evidence for bow and arrow use in Europe, 54,000 years ago, found in southern France · Popular Archaeology https://popular-archaeology.com/article/earliest-likely-evidence-for-bow-and-arrow-use-in-europe-54000-years-ago-found-in-southern-france/
4. How old is the bow and arrow? · World Archery https://www.worldarchery.sport/news/166330/
5. Ötzi's equipment · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/equipment/
6. The longbows of the Mary Rose · Mary Rose Trust https://maryrose.org/ship/bows1.htm
7. Standardised Equipment or Specialist Groups? The Role of Archery Aboard Mary Rose · University of Southampton (Parkes, PhD thesis, 2024) https://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/500151/
8. On the Mechanics of the Bow and Arrow · Rijksuniversiteit Groningen (Kooi, PhD thesis, 1983) https://www.bio.vu.nl/thb/users/kooi/thesis.pdf

Factos verificados em 2026-10-12

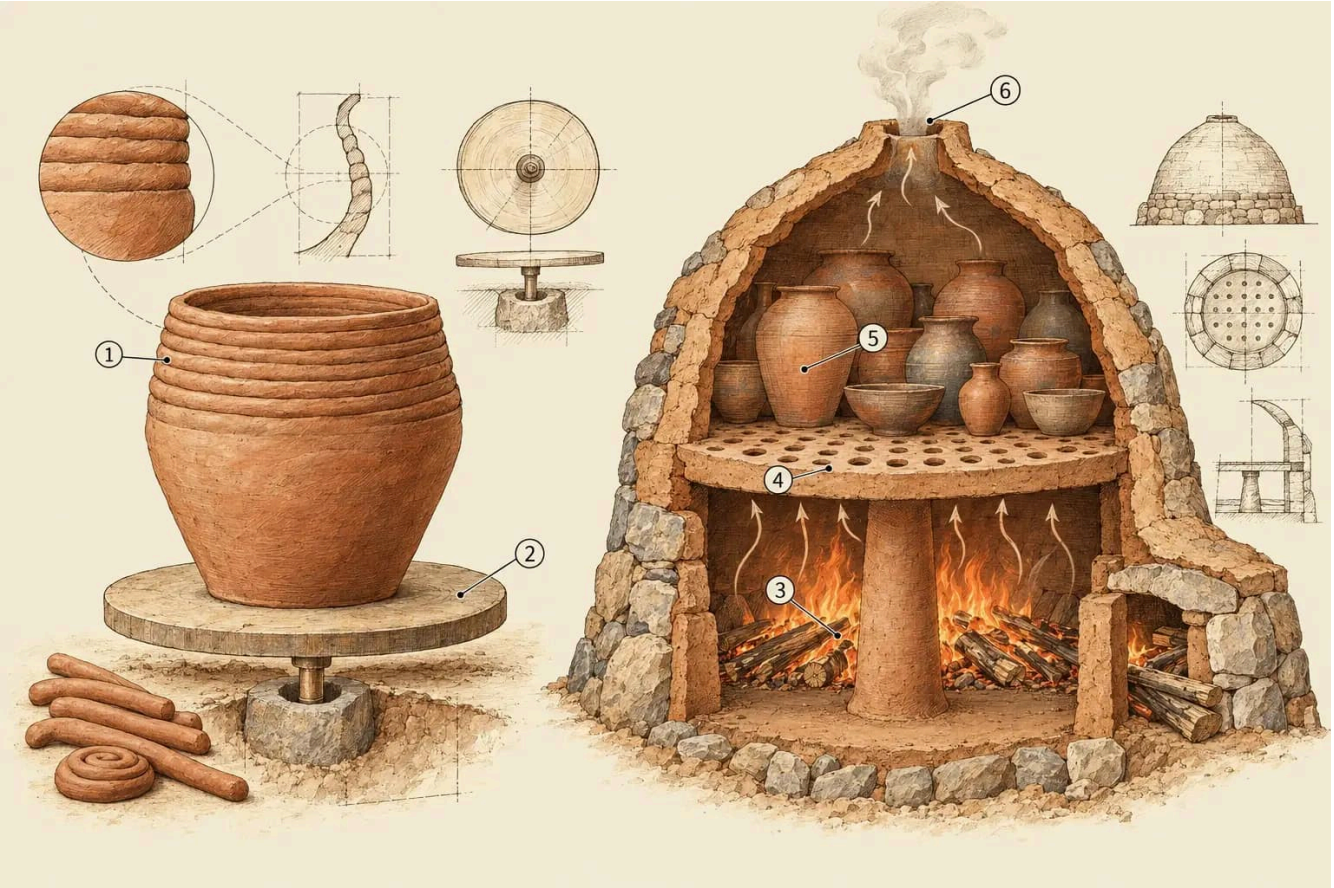
Cerâmica

Barro transformado em pedra pelo fogo

há 18.000 anos · Pré-história · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9)

Conduz a: Cerveja (p. 77), Bronze (p. 123), Queijo (p. 57), Destilação (p. 173), Água potável (p. 35), Tingimento (p. 69), Vidro (p. 132), Medidas e padrões (p. 127), Papel (p. 169), Roda de oleiro (p. 119), Salga (p. 48), Sabão (p. 93), Escrita (p. 85)



1 Rolos de argila 2 Roda baixa 3 Câmara de combustão 4 Grelha perfurada 5 Peças na câmara de cozedura 6 Respiradouro

A cerâmica é argila moldada enquanto húmida e depois cozida até se transformar, de forma definitiva, num material duro, semelhante à pedra. Recoletores do sul da China já faziam potes de barro, provavelmente para cozinhar, há cerca de 20 000 anos, muito antes da agricultura.

O que é

A cerâmica abrange todo o objeto de argila endurecido pelo fogo, desde panelas e talhas até candeias e telhas. Os oleiros dividem as peças em três grupos, conforme a pasta e a temperatura de cozedura: a louça de barro, porosa, o grés, denso, e a porcelana, branca e vítrea.

Um pote de argila grosseira e bem temperada pode aquecer devagar ao lume, para ferver e estufar os alimentos além de os assar, e as talhas tapadas, guardadas em lugar seco, protegem os cereais dos ratos.

A prancha mostra como se molda e coze um pote: montado à mão com rolos de argila e depois cozido num forno simples de tiragem ascendente.

Como funciona

A argila é formada por cristais planos microscópicos, sobretudo silicatos de alumínio. Molhadas, as lamelas deslizam umas sobre as outras em películas de água, e a argila molda-se e conserva a forma. Ao secar, as lamelas compactam-se e o pote encolhe alguns por cento. A argila seca é firme, mas voltaria a ser lama à chuva.

Pote japonês antigo do período Jōmon, marcado por um cordão torcido rolado sobre o barro húmido.

No fogo, entre cerca de 450 e 650 °C conforme a argila, a água presa nos cristais é expulsa e a sua estrutura desfaz-se; a argila nunca mais amolece em água. A temperaturas mais elevadas, os grãos começam a fundir-se onde se tocam. A louça de barro continua porosa. Às temperaturas do grés, parte da pasta funde-se num vidro que enche os poros, e o pote retém a água sem vidrado. A porcelana, feita de uma pasta branca rica em caulino cozida a alta temperatura, fica dura e ligeiramente translúcida.

Cozedura a céu aberto: os potes são enterrados no combustível e cozidos no chão, sem forno.

Os oleiros misturam na argila um desengordurante, como areia, conchas esmagadas ou cacos velhos moídos. Este tempero abre a pasta à saída do vapor e reduz as fissuras quando o pote seca e aquece.

As primeiras peças coziam-se em fogueiras ou covas pouco fundas, a 600–900 °C. Um forno retém o calor. No forno da prancha, o fogo arde numa câmara de combustão em baixo e os gases quentes sobem pelos furos de uma grelha de barro, rodeiam as peças empilhadas e saem por um respiradouro no topo. Os potes já não estão metidos no combustível a arder, por isso o calor fica mais uniforme e mais fácil de controlar, e racham menos peças.

Como fazer

Faz-se boa louça de barro com argila do chão, poucas ferramentas simples e uma fogueira. Os passos abaixo são um esboço.

Encontrar e preparar a argila. Enrole um cordão fino e dobre-o em anel: se não rachar, a argila é suficientemente plástica. Desfaça-a em água, deixe as pedras assentar, verta a barbotina de cima e seque-a até se poder amassar. Amasse-a com areia ou cacos esmagados, começando por cerca de um quarto do seu volume, e coza algumas pequenas peças de ensaio para acertar a mistura.

Montar com rolos. Achate um disco para a base. Assente por cima, um a um, rolos da grossura de um dedo, apertando e alisando cada um contra o anterior, por dentro e por fora. Trabalhe sobre uma tábua ou uma roda baixa para ir rodando o pote. Adelgace e iguale as paredes batendo com uma pá de madeira contra uma pedra segura por dentro.

Secar devagar. Resguarde o pote do sol e do vento uma semana ou mais. Em estado de couro, pode bruni-lo esfregando a superfície com um seixo liso. Só o coza quando estiver bem seco e já não parecer frio ao toque.

Cozer. Aqueça os potes uma ou duas horas junto ao fogo, rodando-os. Depois empilhe-os sobre brasas, cubra-os com lenha e bosta e aumente o fogo ao longo de várias horas. Deixe tudo arrefecer devagar nas cinzas antes de

os retirar.

> **Segurança.** Coza apenas ao ar livre, longe de edifícios: limpe o terreno, tenha água por perto, atenção ao vento e fique fora do fumo. A argila húmida pode rebentar e projetar fragmentos cortantes, e as cinzas quentes são perigosas durante horas. O pó de argila seca contém sílica fina que danifica os pulmões: limpe com água em vez de varrer. Trate os potes feitos assim como experiências e não os use com alimentos sem que a argila e as peças acabadas tenham sido testadas. Nunca use vidrados de composição desconhecida: o chumbo pode passar para os alimentos.

História e evolução

O barro cozido é anterior aos potes. Em Dolní Věstonice, na atual República Checa, fizeram-se estatuetas de argila cozida entre cerca de 29 000 e 25 000 a.C., mas nenhum recipiente.

Os potes mais antigos conhecidos vêm da gruta de Xianrendong, na província de Jiangxi, na China. Em 2012, uma equipa dirigida por Wu Xiaohong e Ofer Bar-Yosef datou os cacos mais antigos, alguns com fuligem e marcas de queimado que sugerem uso na cozinha, de há cerca de 20 000 a 19 000 anos, no auge da última glaciação. Há quem ache as camadas da gruta demasiado remexidas para haver certezas, mas cerâmica antiga de outros pontos da Ásia Oriental confirma que os recoletores da Idade do Gelo faziam potes. Em Ōdai Yamamoto, no norte do Japão, cacos com restos carbonizados de comida foram datados de há cerca de 16 500 a 15 000 anos, conforme o estudo. No Próximo Oriente passou-se o contrário: as primeiras aldeias agrícolas passaram mais de dois mil anos sem potes.

O forno de cerâmica mais antigo conhecido no Médio Oriente, em Yarim Tepe, no norte do Iraque, data de cerca de 6000 a.C. ou pouco antes. Por volta de 3500 a.C., rodas lentas ajudavam os oleiros do Próximo Oriente a moldar potes de rolos, e o torno rápido, pesado o bastante para continuar a girar enquanto o oleiro erguia um pote de uma pela de argila, surgiu no III milénio a.C.

Os fornos chineses chegavam a cerca de 1000 °C antes de 2000 a.C., e os fornos-dragão, em rampa pelas encostas, atingiam 1300 °C. Isso tornou possível o grés e, já na dinastia Tang (618–907), a porcelana branca.

Roda de oleiro antiga: uma pesada cabeça de madeira que gira sobre um pião assente numa pedra.

Números-chave

Potes mais antigos conhecidos
Gruta de Xianrendong, China, há c. 20 000–19 000 anos

Ponto sem retorno
Cerca de 450–650 °C, conforme a argila: já não amolece na água

Forno de cerâmica mais antigo conhecido no Médio Oriente
Yarim Tepe, Iraque, c. 6000 a.C. ou pouco antes

Temperaturas de cozedura
Louça de barro 600–1200 °C, grés 1100–1300 °C, porcelana até 1400 °C

Fontes

1. Pottery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pottery
2. Kiln · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kiln
3. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
4. Oldest pottery comes from Chinese cave · Science News https://sciencenews.org/?p=8772
5. The First Pots (Top 10 Discoveries of 2012) · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/january-february-2013/collection/top-10-2012-neolithic-china-pottery/top-10-discoveries-of-2012/
6. Firing Clay: The Lowdown on the Ceramic Firing Process · Ceramic Arts Network https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/Firing-Clay-The-Lowdown-on-the-Ceramic-Firing-Process
7. Quartz Inversion · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/quartz+inversion
8. Water Smoking · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/water+smoking
9. Red heat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Red_heat

Factos verificados em 2026-10-11

Pão

Grão moído, água e calor

há 12.400 anos · Pré-história · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9)

Conduz a: Cerveja (p. 77)

1 Mó de vaivém 2 Massa levedada 3 Abóbada do forno 4 Lar do forno 5 Brasas 6 Pá de forno

O pão é uma massa de cereal moído e água, muitas vezes levedada, cozida até ganhar consistência. Caçadores-recoletores da Jordânia já coziam pão achatado há cerca de 14 400 anos, antes de alguém cultivar cereais.

O que é

O pão é farinha misturada com água, moldada e cozida por calor seco. Quase sempre leva sal. A maioria é também levedada: a levedura ou a massa-mãe enche-a de pequenas bolhas de gás, e o pão cresce e coze com um miolo arejado. Os pães achatados sem levedura dispensam esse passo e cozem em minutos numa pedra quente ou na parede de um forno.

O grão cozido conserva-se mal e o cru é difícil de digerir. O pão faz dos cereais um alimento fácil de levar e que se conserva durante dias, e em muitas dietas dá a maior parte das calorias. A prancha segue a sequência antiga: o grão moído numa mó de vaivém, a massa a levedar numa amassadeira de madeira, os pães cozidos no lar de um forno de abóbada.

Trigo-monococo, trigo-farro e cevada, os cereais dos primeiros pães do Próximo Oriente.

Como funciona

A farinha de trigo contém duas famílias de proteínas, as gluteninas e as gliadinas. Com água e amassadura, ligam-se no glúten, uma rede elástica que estica e retém o gás. As proteínas do centeio e da cevada não formam a mesma rede elástica; o pão de centeio mantém-se coeso sobretudo graças ao amido e às gomas, e por isso estes pães são densos.

As leveduras, fungos unicelulares presentes no grão e no ar, alimentam-se dos açúcares libertados pelo amido. Produzem dióxido de carbono e um pouco de álcool. O gás acumula-se em minúsculas bolsas retidas pelo glúten e a massa incha. A massa-mãe junta leveduras selvagens e bactérias láticas, que dão um sabor ácido e ajudam o pão a conservar-se.

No forno, o gás e a água da massa dilatam-se e o pão cresce depressa nos primeiros minutos. Entre cerca de 60 e 80 °C, o amido absorve água e incha, e as proteínas coagulam; a espuma mole torna-se miolo firme. À superfície, onde a massa seca e aquece muito mais, açúcares e proteínas reagem e alouram, formando a côdea. O pão está pronto quando o centro se aproxima dos 100 °C.

O forno a lenha funciona com calor acumulado. O fogo arde dentro da abóbada até a alvenaria aquecer por inteiro; depois afastam-se ou retiram-se as brasas e os pães entram com a pá. As paredes grossas devolvem calor uma hora ou mais.

Como fazer

São precisos trigo, uma maneira de o moer, uma massa-mãe e um forno. Os passos abaixo dão dois pães de trigo com massa-mãe; o centeio e a cevada pedem outras receitas.

Fazer a farinha. Moa trigo ou espelta, limpos e secos, entre duas pedras. Para um pão mais leve, peneire o farelo grosso.

Iniciar a massa-mãe. Misture pesos iguais de farinha integral e água num frasco, tape-o sem apertar e guarde-o num sítio morno. Todos os dias guarde cerca de 100 g, deite fora o resto e alimente-a com 100 g de farinha e 100 g de água, a 20–27 °C. Ao fim de cinco a dez dias deve borbulhar e duplicar poucas horas depois de cada refresco.

Misturar e amassar. Para dois pães, junte 1 kg de farinha, 650–700 g de água, 20 g de sal e cerca de 200 g de massa-mãe ativa. Amasse dez minutos, até a massa ficar lisa e elástica.

Deixar levedar. Deixe a massa tapada quatro a oito horas, conforme o calor, divida-a em duas, molde cada metade numa bola bem apertada e deixe-as levedar de novo num cesto enfarinhado ou num pano durante uma a três horas, até crescerem cerca de metade e uma cova feita com a ponta do dedo voltar devagar.

Aquecer o forno. Queime lenha dura e seca numa abóbada de barro ou tijolo durante uma a duas horas, até a fuligem do interior da abóbada queimar e a alvenaria ficar clara. Retire as brasas, passe um pano húmido pelo lar e meta os pães com a pá. Coza cerca de 40 minutos; batida, a base deve soar a oco.

> **Segurança.** O lar e as paredes do forno provocam queimaduras graves: use uma pá comprida e luvas grossas, e nunca se debruce sobre a boca do forno. Trabalhe ao ar livre, porque um fogo lento num espaço fechado liberta monóxido de carbono. Deite fora o grão com bolor ou com cravagem, corpos negros e venenosos em forma de corno. Mantenha limpo o frasco da massa-mãe; se aparecer qualquer bolor, deite fora toda a massa-mãe e escalde o frasco.

História e evolução

Pão carbonizado soterrado pelo Vesúvio em 79 d.C., marcado em oito porções antes de ir ao forno.

Em 2018, uma equipa dirigida por Amaia Arranz-Otaegui descreveu migalhas carbonizadas de duas lareiras em Shubayqa 1, um sítio no nordeste da Jordânia ocupado por caçadores-recoletores natufianos há cerca de 14 400 anos. Ao microscópio eletrónico, revelaram ser uma espécie de pão achatado de cereais selvagens, como o trigo-monococo, misturados com tubérculos moídos de junça-marítima (Bolboschoenus glaucus), uns 4000 anos antes do início da agricultura na região.

No antigo Egito, o pão era de trigo-farro, pilado para soltar o grão das glumas e depois moído em mós de vaivém. A arqueobotânica Delwen Samuel examinou ao microscópio pães dessecados e encontrou leveduras conservadas em pão de cerca de 1400 a.C., a mais antiga prova direta de levedura na panificação.

Em Roma, a panificação tornou-se um ofício. Os arqueólogos documentaram 39 padarias em Pompeia, com mós de pedra movidas por burros e fornos de abóbada, e conservam-se pães carbonizados na erupção de 79 d.C. Plínio, o Velho, registou que gauleses e iberos usavam a espuma da cerveja para levedar um pão mais leve.

Durante séculos, a maioria das pessoas comeu pães grosseiros de centeio, cevada ou mistura; o pão branco de trigo fino era um luxo. No século XIX, os moinhos de cilindros tornaram barata a farinha branca, e o fermento de padeiro industrial substituiu a massa velha e a levedura das cervejeiras. Em 1961, o processo Chorleywood, na Grã-Bretanha, substituiu a longa primeira fermentação por alguns minutos de mistura mecânica intensa, e a maioria do pão de fábrica britânico ainda se faz assim.

Moinho de Pompeia: a pedra superior em ampulheta gira sobre um cone fixo e mói o grão entre as duas.

Números-chave

Pão mais antigo conhecido

Shubayqa 1, Jordânia, há cerca de 14 400 anos

Primeira prova direta de levedura no pão

Pães egípcios, c. 1400 a.C.

Massa típica

100 partes de farinha, 60–75 de água, cerca de 2 de sal

Cozedura

Cerca de 40 minutos a 220–250 °C para um pão de cerca de 900 g

Fontes

1. Bread · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bread
2. Flatbread Baked 14,400 Years Ago Found in Jordan · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/natufian-flatbread-jordan-06210.html
3. 3500 year old bread and beer from the New Kingdom Egypt · UCL Researchers in Museums https://blogs.ucl.ac.uk/researchers-in-museums/2017/02/09/3500-year-old-bread-and-beer-from-the-new-kingdom-egypt
4. Digging Deeper into Pompeii's Past · Archaeology Magazine https://archaeology.org/issues/july-august-2019/collection/pompeii-industry-bakeries/digging-deeper-into-pompeiis-past/
5. Adjusting Bake Times in New Ovens · BAKERpedia https://bakerpedia.com/?p=39416
6. Yeast Kill · BAKERpedia https://bakerpedia.com/processes/yeast-kill/
7. Relating Bread Baking Process Operating Conditions to the Product Quality: a Modelling Approach · Chemical Engineering Transactions https://doi.org/10.3303/CET1439289

Factos verificados em 2026-10-11

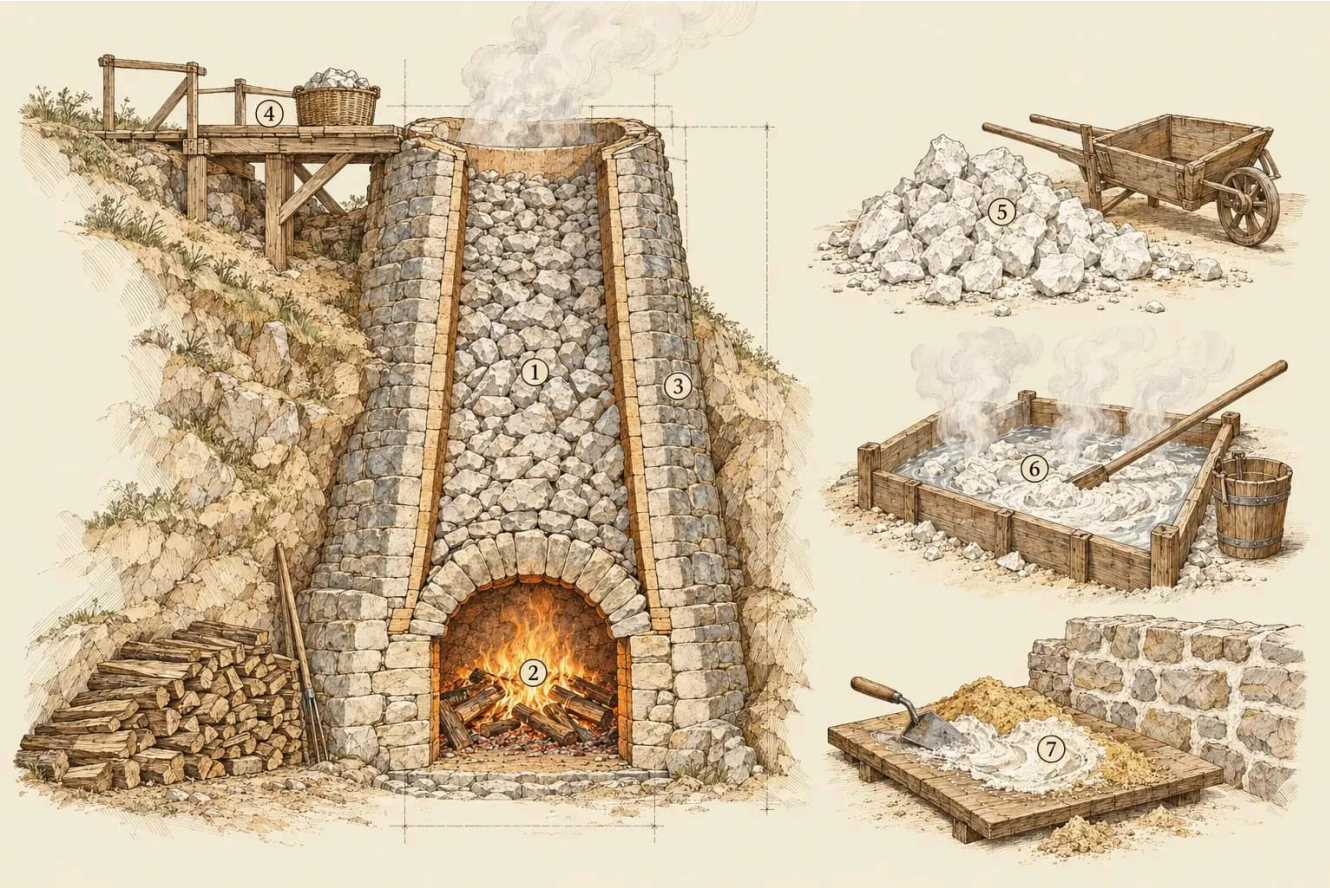
Cal e argamassa de cal

Pedra cozida que volta a ser pedra

há 10.000 anos · Pré-história · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9), Ferramentas de pedra (p. 5)

Conduz a: Aqueduto (p. 145), Cimento Portland (p. 257), Betão romano (p. 165)



1 Carga de pedra calcária 2 Fogo de lenha sob o arco de pedras 3 Parede grossa do forno com o seu revestimento interior
4 Plataforma de carga no topo 5 Cal viva tirada do forno 6 Poço de extinção: água, vapor e pasta
7 Argamassa de pasta e areia, assente numa parede

A cal é pedra calcária cozida num forno até libertar o seu dióxido de carbono, e depois apagada com água até formar uma pasta ou um pó branco. Misturada com areia, serve há milénios de argamassa e de reboco, e endurece ao recuperar do ar esse dióxido de carbono e voltar a ser pedra.

O que é

A cal é um ligante branco obtido do calcário, do giz ou das conchas, todos formas de carbonato de cálcio. Cozida, a pedra torna-se cal viva; com água, a cal viva passa a cal apagada, em pasta mole ou em pó seco. Misturada com areia, a cal apagada dá a argamassa onde se assentam pedras e tijolos, e o reboco de paredes e pavimentos.

Depois de aplicada, a argamassa vai tirando dióxido de carbono do ar e volta a ser carbonato de cálcio, a substância de onde partiu. Os pedreiros chamam a esta viagem de ida e volta o ciclo da cal; a prancha segue-o desde o forno, à esquerda, até à parede, à direita.

Como funciona

A cozedura. Acima de uns 700 °C, e depressa por volta dos 900 °C, o carbonato de cálcio decompõe-se em óxido de cálcio e dióxido de carbono, que sai com o fumo. Um calcário puro perde 44% do seu peso, mas os blocos mantêm a forma e saem leves, porosos e esbranquiçados. Vitrúvio reparou nessa perda e estimava-a em um terço.

Num forno tradicional, o caieiro levanta uma abóbada de pedras grandes sobre o canal do fogo e depois enche a cuba com pedaços cada vez mais pequenos. O fogo é alimentado pela boca de baixo durante dois ou três dias. Catão, por volta de 160 a.C., indica os sinais de uma cozedura acabada: as pedras de cima estão cozidas por inteiro, a carga abate por baixo e a chama sai com menos fumo. O forno arrefece depois vários dias antes de ser esvaziado.

A extinção. A cal viva reage com a água, forma hidróxido de cálcio e liberta muito calor. A água pode ferver, e os torrões incham e rebentam numa massa branca muito fina. Com muita água obtém-se pasta de cal; com a água certa, um pó seco, a cal hidratada vendida em sacos. A pasta melhora com o tempo: até meados do século XIX deixava-se a maturar numa fossa ou numa caixa de madeira durante algumas semanas ou até um ano, tapada para que o ar não a endurecesse.

A extinção: os torrões incham, racham e desfazem-se enquanto a água aquece.

A presa. Na parede, a areia forma o corpo da argamassa e a cal preenche os vazios entre os grãos. À medida que a água evapora, o hidróxido de cálcio capta dióxido de carbono do ar e volta a ser carbonato de cálcio. Esta carbonatação começa à superfície e avança devagar para o interior. Uma argamassa que seca depressa demais fica fraca.

Uma argamassa de cal pura é em geral mais macia e mais permeável do que as pedras ou os tijolos que liga: a parede pode assentar um pouco e continua a secar pelas juntas. Um calcário com argila dá uma cal hidráulica, que faz presa também debaixo de água.

Como construir

Compre cal viva em torrões a um fornecedor de materiais para reabilitação de edifícios, apague-a e depois amasse a argamassa e levante um pequeno muro de jardim em pedra. Com pasta de cal já pronta, salte a extinção e passe logo à amassadura.

Apagar a cal. Encha até meio com água uma tina de aço. De óculos, luvas e mangas compridas, deite a cal viva na água aos poucos, nunca a água sobre a cal, e afaste-se enquanto aquece. Mexa com uma pá comprida de madeira. Depois de arrefecer, passe-a por um crivo para um bidão com tampa, deixe a pasta assentar debaixo de alguns centímetros de água e espere pelo menos algumas semanas.

Amassar a argamassa. Use areia limpa e angulosa, com grãos de todos os tamanhos, na proporção de um volume de pasta para três de areia. Bata e corte a mistura durante muito tempo com a enxada ou com uma pá, juntando o mínimo de água possível. Um trabalho demorado torna a argamassa de cal plástica e coesa; a água a mais faz com que retraia e fissure.

Assentar e curar. Trabalhe só com pelo menos 5 °C e temperaturas a subir, sem geada prevista durante semanas. Molhe as pedras para que não chupem a água das juntas. Assente cada pedra numa cama de argamassa e encha bem as juntas. Mantenha a obra húmida e à sombra debaixo de serapilheira durante pelo menos uma semana,

Amassar à mão: a enxada furada faz entrar a pasta na areia.

borrife-a quando ficar pálida e cubra-a com mantas isolantes se houver risco de geada. Nunca seque uma obra de cal com um aquecedor.

> **Segurança.** A cal viva e a cal apagada são cáusticas: queimam a pele e podem cegar. Use óculos estanques, luvas, mangas compridas, botas e máscara contra poeiras quando trabalhar com cal em pó. Se entrar cal nos olhos, lave-os logo com muita água limpa, de pálpebras abertas, durante pelo menos 15 minutos, e procure assistência médica. Ao apagar, a água pode ferver e salpicar, e cal viva em contacto com humidade já incendiou madeira e palha: guarde-a seca, fechada e longe de tudo o que arda, e nunca lhe junte água num recipiente fechado. Não construa um forno sem autorização local e sem ajuda experiente, mantenha-se longe do topo enquanto arde e nunca suba para cima de um forno ainda quente nem entre nele. Mantenha as crianças afastadas.

História e evolução

A cal cozida mais antiga vem de caçadores-recolectores do Levante: no Sinai, há cerca de 16 000 anos, parece ter servido para fixar pequenas lâminas de sílex aos cabos. Em Nahal Ein Gev II, junto ao mar da Galileia, oito pessoas foram sepultadas há cerca de 12 000 anos sob uma camada de reboco de cal com uns 40 cm de espessura, sinal de que já se fabricava cal em quantidade.

Nas primeiras aldeias de agricultores, a partir de há cerca de 10 000 anos, o reboco de cal cobria pavimentos e paredes em muitos sítios, e um forno escavado no chão em Nesher-Ramla, em Israel, tem cerca de 10 400 anos. Em Ain Ghazal, perto de Amã, modelaram-se 32 estátuas e bustos de cal sobre armações de canas; as datações por radiocarbono calibradas situam-nos por volta de 7700 a 7500 a.C., enquanto publicações mais antigas indicam cerca de 6700 a 6500 a.C. em anos não calibrados.

Uma estátua de Ain Ghazal: cal modelada sobre feixes de canas atados com cordel.

Os autores romanos deixaram instruções práticas. O forno de Catão tinha 10 pés de largura, 20 de altura e 3 no topo. Vitrúvio aconselhava três partes de areia de areeiro para uma de cal, ou duas de areia de rio ou de mar.

Depois de Roma, muitas argamassas eram de pasta de cal e areia da região, mais ou menos um para três; outras faziam-se a quente, apagando a cal viva em areia húmida, e as receitas variavam de região para região. A cal viva era apagada na obra até meados do século XIX. O cimento Portland, patenteado na Grã-Bretanha em 1824, foi tomando o seu lugar, e na década de 1930 a maioria dos pedreiros americanos já o misturava na argamassa. Os restauradores voltaram à cal para os edifícios antigos, porque uma argamassa de cimento dura e densa pode reter a humidade na alvenaria e acelerar a degradação da pedra.

Números-chave

Temperatura de cozedura
Cerca de 900 °C; a transformação começa perto dos 700 °C

Peso perdido no forno
44% num calcário puro; Vitrúvio estimava um terço

Argamassa tradicional
1 volume de pasta de cal para 3 de areia

Calor da extinção
Cal viva a reagir com a humidade já atingiu 800 °C e incendiou madeira e palha

Reboco de cal mais antigo em grande quantidade
Nahal Ein Gev II, Israel, há cerca de 12 000 anos

Fontes

1. Lime plaster cover of the dead 12,000 years ago: new evidence for the origins of lime plaster technology (Friesem, Abadi, Shaham and Grosman, Evolutionary Human Sciences, 2019) · Cambridge University Press, via PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10427327/
2. A 10,400-year-old sunken lime kiln from the Early Pre-Pottery Neolithic B at the Nesher-Ramla quarry (el-Khirbe), Israel (Toffolo et al., 2017) · Journal of Archaeological Science: Reports, record at CENIEH https://investigacion.cenieh.es/documentos/65872833e6e23719147fb5c7?lang=fr
3. 'Ain Ghazal "Monumental" Figures: A Stylistic Analysis (Denise Schmandt-Besserat) · University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/ain-ghazal/ain-ghazal-monumental-figures-a-stylistic-analysis/
4. Lime Plaster Statue from Ain Ghazal · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/image/8522/lime-plaster-statue-from-ain-ghazal/
5. Cato, On Agriculture, chapters 1–52 (chapters 16 and 38: the lime kiln), translated by W. D. Hooper and H. B. Ash · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cato/De_Agricultura/A*.html
6. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II, chapters 4–5 (sand and lime), translated by Joseph Gwilt · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
7. Introduction to lime: lime and its production · Tŷ-Mawr Lime https://lime.org.uk/knowledge-base/introduction-to-lime-lime-and-its-production
8. Some dos and don'ts in the use of lime mortars · Building Limes Forum https://www.buildinglimesforum.org.uk/some-dos-and-donts-in-the-use-of-lime-mortars/
9. Technical Advice Guide: Introduction to Lime in Traditional Buildings · Scottish Lime Centre Trust https://scotlime.org/documents/15/Technical_Advice_Guide_Introduction_to_Lime_in_Traditional_Buildings_1.pdf
10. Preservation Brief 2: Repointing Mortar Joints in Historic Masonry Buildings (Mack and Speweik, 1998) · U.S. National Park Service https://www.nps.gov/orgs/1739/upload/preservation-brief-02-repointing.pdf
11. A case study in lime production no. 1: traditional batch techniques at Chenkumbi, Malawi · Practical Action https://kolibri.teacherinabox.org.au/modules/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100090_Lime_production_traditional_Chenkumbi_Malawi.pdf
12. Lime production: traditional batch techniques in Patarra, Costa Rica · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Construction/Cement%20and%20binders/KnO-100089_Lime%20production%20-%20Traditional%20batch%20techniques%20in%20Patarra%20%20Costa%20Rica,%20case%20study/page2.html
13. Calcium oxide: chemical datasheet (with NIOSH Pocket Guide first aid) · CAMEO Chemicals, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/311

Factos verificados em 2026-10-13

Água potável

Tirar, decantar, filtrar, ferver

c. 8.400 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9), Cerâmica (p. 23), Corda e cordame (p. 13)

Conduz a: Higiene e antissepsia (p. 299), Reidratação oral (p. 375)

1 Poço revestido de pedra 2 Bocal, tampa e sarilho 3 Laje inclinada e caleira 4 Talha de decantação
5 Leito de areia fina com a camada biológica 6 Cascalho e tubo de saída 7 Panela em fervura forte

A água segura começa numa fonte protegida, por exemplo um poço revestido e tapado, aberto a montante e longe de latrinas e currais. Quando a água é duvidosa, a decantação, a filtração lenta em areia e a fervura removem ou matam a maior parte dos germes da diarreia, da cólera e da febre tifoide, mas nenhum destes métodos retira os químicos dissolvidos.

O que é

A água que faz adoecer costuma parecer limpa. O perigo está em bactérias, vírus, protozoários e ovos de vermes que vêm quase sempre de fezes humanas ou animais. A cólera, a febre tifoide, a disenteria e as diarreias que ainda matam crianças pequenas transmitem-se assim.

A água segura resulta de uma cadeia de hábitos: uma fonte mantida limpa, a água duvidosa clarificada por decantação ou filtração lenta em areia e depois fervida, e um armazenamento cuidadoso, porque um copo ou uma mão sujos chegam para a contaminar outra vez.

Como funciona

A chuva arrasta excrementos dos campos e dos pátios para ribeiros e charcos. O líquido de uma fossa de latrina infiltra-se no solo até às águas subterrâneas pouco profundas, mais depressa através de cascalho ou de calcário fissurado do que através de argila.

A água subterrânea é em geral mais limpa do que a de superfície, porque o solo retém partículas e micróbios. Um poço conserva essa vantagem se o revestimento argamassado da parte de cima, o bocal, a tampa e a laje inclinada impedirem a escorrência e a água entornada de entrar nele.

Muitos germes agarram-se às partículas de limo e de argila. Quando a água turva repousa algumas horas, as partículas descem ao fundo e levam consigo parte dessa carga. A decantação, por si só, não torna a água potável.

Um filtro lento de areia é sobretudo um sistema vivo. A água desce através de areia fina a algumas décimas de metro por hora. Nas primeiras semanas instala-se nos centímetros de cima uma camada de bactérias, algas e organismos minúsculos. As partículas ficam ali presas, os micróbios dessa camada alimentam-se de muitos dos agentes patogénicos retidos e outros morrem antes de a atravessar. Ainda assim passam algumas bactérias e muitos vírus: o filtro melhora a água, mas sozinho não a torna segura.

A fervura mata pelo calor. Segundo a OMS, levar a água a uma fervura forte basta para inativar bactérias, vírus e protozoários patogénicos. O calor nada faz contra os químicos.

Como fazer

Escolher e proteger a fonte. Prefira um aquífero protegido ou uma nascente captada, depois a chuva de um telhado limpo e, só em último lugar, rios e charcos. Abra o poço a montante de qualquer latrina, a pelo menos 30 m e mais em cascalho ou rocha fissurada, e mantenha os animais atrás de uma vedação a cerca de 15 m, como sugere a OMS. Lave a roupa e dê de beber ao gado a jusante.

Abrir e revestir o poço. Abra um poço com pelo menos um metro de diâmetro e reviste-o de pedra ou tijolo à medida que desce. A OMS recomenda tornar estanques pelo menos os 3 m de cima, com juntas de argamassa, enquanto o revestimento abaixo do nível da água fica aberto para deixar entrar o aquífero. Levante um bocal, ponha uma tampa e construa à volta uma laje impermeável com pelo menos 1 m de largura, ligada ao bocal e inclinada para uma caleira que leve a água entornada para jusante. Reserve uma corda e um balde para o poço e nunca os pouse no chão. Um poço novo ou inundado tem de ser desinfetado e, se possível, a sua água analisada; até lá, ferva-a. Abrir ou limpar um poço fundo é trabalho para poceiros experientes, nunca para uma pessoa sozinha.

Decantar e coar. Deixe a água turva repousar algumas horas numa talha tapada e verta depois a parte límpida sem mexer no depósito. Passe-a em seguida por um pano de algodão limpo dobrado em várias camadas. Em aldeias do Bangladesh, um sari dobrado em oito camadas reduziu a cólera quase para metade.

Montar um filtro de areia. Estes valores dão o princípio; um modelo testado, como o filtro de bioareia da CAWST, define a granulometria da areia e o caudal. Use um recipiente estanque com cerca de 0,9 m de altura. Ponha cascalho no fundo à volta da ponta de um tubo de saída, por cima areia mais grossa e depois pelo menos meio metro de areia fina lavada. Faça subir o tubo por fora até a sua ponta ficar cerca de 5 cm acima da superfície da areia; quando a água deixar de correr, confirme que ficam cerca de 5 cm de água sobre a areia. Uma placa furada ou uma pedra lisa por cima evita que a água vertida escave a areia. Deite a água um balde de cada vez e deixe o filtro repousar pelo menos uma hora, e não mais de dois dias, entre enchimentos. Quando o caudal ficar

demasiado lento, mexa levemente, com a palma da mão, só a camada de cima da areia, sem a misturar mais fundo, e retire a água suja.

Uma tampa, uma base elevada e uma concha mantêm as mãos e a sujidade longe da água guardada.

Ferver e guardar. Ferva toda a água de uma fonte duvidosa antes de a beber, mesmo decantada e filtrada. Leve-a a uma fervura forte; os CDC aconselham mantê-la 1 minuto, ou 3 minutos acima de cerca de 2000 m. Deixe arrefecer tapada e verta-a numa talha limpa de gargalo estreito, com tampa. Sirva com uma concha limpa ou vertendo, nunca mergulhando um copo ou a mão.

Um pano dobrado várias vezes retém o limo e o plâncton a que se agarra o vibrião da cólera.

> **Segurança.** Ferver e filtrar atuam sobre os germes, não sobre os químicos. Nitratos do estrume e das latrinas, arsénio, flúor, chumbo, sal, combustível e pesticidas continuam na água, e a fervura concentra os nitratos à medida que a água se evapora. Se uma fonte puder ter poluição química, procure outra. A decantação e o filtro de areia não retêm todos os germes: ferva também a água. Mantenha qualquer latrina a pelo menos 30 m do poço e a jusante, com o fundo da fossa pelo menos 1,5 m acima do lençol freático no seu nível mais alto, na estação das chuvas. A água a ferver escalda: ponha a panela bem estável e afaste as crianças. Não desça a um poço: no fundo pode faltar oxigénio e as paredes podem desabar, e uma corda não protege de nenhuma das duas coisas. Tape todos os poços para que nenhuma criança ou animal lá caia.

História e evolução

Os poços mais antigos datados com segurança ficam em Chipre: em Kissonerga-Mylouthkia, um poço aberto no calcário por volta de 8400 a.C. chegava à água a 8 m.

A água filtrada para o público nasceu de um filtro experimental instalado numa fábrica escocesa de branqueamento de tecidos em 1804. Em 1829, James Simpson, engenheiro da Chelsea Waterworks Company, em Londres, pôs a funcionar um leito filtrante de cerca de 0,4 hectares, de tijolo, cascalho e areia, para a água tirada do Tamisa.

Em 1849, John Snow defendeu que a cólera viajava na água contaminada pelos esgotos, quando a maior parte dos médicos culpava o ar viciado. Quando a epidemia atingiu o Soho a 31 de agosto de 1854, ligou as mortes à bomba de Broad Street: das 73 mortes que investigou nas ruas em redor, 61 eram de pessoas que bebiam a sua água. A paróquia mandou retirar a alavanca a 8 de setembro, quando o surto já abrandava. Um clérigo do bairro, Henry Whitehead, encontrou depois a origem provável: uma fossa em frente do número 40, onde fora despejada a água das fraldas de um bebé doente. Snow comparou ainda duas companhias que abasteciam as mesmas ruas: as casas servidas com água captada a jusante das descargas dos esgotos de Londres tiveram cerca de 315 mortes por cólera por 10 000 casas, contra 37 na companhia que captava a montante.

Broad Street, setembro de 1854: sem a alavanca, a bomba deixou de poder ser usada.

Em 1908, Jersey City tornou-se a primeira cidade americana a clorar a água por rotina; o cloro que fica na água continua a protegê-la nas canalizações.

Números-chave

Fervura

Uma fervura forte inativa bactérias, vírus e protozoários (OMS); os CDC aconselham 1 minuto, 3 minutos acima de cerca de 2000 m

Filtro de areia doméstico

Em laboratório, com camada biológica madura: 99,98 % dos protozoários e 90–99 % das bactérias removidos, os vírus de forma menos fiável (CDC)

Poço datado mais antigo

Cerca de 8400 a.C., Kissonerga-Mylouthkia (Chipre), 8 m de profundidade no calcário

Latrina e poço

Pelo menos 30 m de distância, fundo da fossa pelo menos 1,5 m acima do lençol freático (MSF)

Pano dobrado

Um sari dobrado em 8 camadas retém partículas acima de cerca de 20 µm; 48 % menos cólera em aldeias do Bangladesh (2003)

Fontes

1. Boil water (technical brief WHO/FWC/WSH/15.02) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-15.02
2. How to Make Water Safe in an Emergency · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/index.html
3. How to Create and Store an Emergency Water Supply · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/water-emergency/about/how-to-create-and-store-an-emergency-water-supply.html
4. Household Water Treatment: Slow Sand Filtration · Centers for Disease Control and Prevention https://stacks.cdc.gov/view/cdc/41390/cdc_41390_DS1.pdf
5. Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance (2009) · CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology) https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/Guides%26Manuals/CAWST%20files/Biosand%20Filter%20Manual_Version%2010_Sep%2009%5B1%5D.pdf
6. Technical Fact Sheet: Dug well with a hand pump (draft, 2020) · World Health Organization https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/sanitary-inspection-packages/2-tfs-dug-well-with-hand-pump-d-200506.pdf
7. Appendix 14. Excreta pit (stools and vomit) · Médecins Sans Frontières, Medical Guidelines https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
8. Introduction to Excreta Disposal, Drainage and Hand Washing Facilities · Red Cross Red Crescent, Southeast Asia https://www.rcrc-resilience-southeastasia.org/wp-content/uploads/2018/03/5-Introduction-to-Excreta-Disposal-Drainage-and-Hand.pdf
9. Private Water Supplies Technical Manual, 6.5 Filtration · Drinking Water Quality Regulator for Scotland https://dwqr.scot/media/jl0ddz3x/pws-technical-manual-section-6-water-treatment-processes-65-filtration-larger-scale.pdf
10. Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration (Colwell et al., 2003) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC298724
11. All About DWEE: Keeping Your Well Water Safe and Sound · Nebraska Department of Water, Energy, and Environment https://dwee.nebraska.gov/node/5495
12. Well · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Well
13. London's water supply and the introduction of sand filtration (Chelsea) · Institute of Water https://instituteofwater.org.uk/all/londons-water-supply-and-the-introduction-of-sand-filtration-chelsea/
14. John Snow: Cholera & the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
15. Dr John Snow and Reverend Whitehead · Cholera and the Thames (Westminster City Archives) https://www.choleraandthethames.co.uk/cholera-in-london/cholera-in-soho/
16. Snow & the pump handle · Cholera in St. James, Michigan State University https://johnsnow.matrix.msu.edu/broadstpump/snow-the-pump-handle/
17. Snow's "Grand Experiment" · Adhikari, DeNero and Wagner, Computational and Inferential Thinking https://inferentialthinking.com/chapters/02/2/snow-s-grand-experiment/index.html
18. History of Drinking Water Treatment · Centers for Disease Control and Prevention https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/healthywater/drinking/history.html
19. Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter (Elliott et al., 2008) · Water Research https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.01.016
20. Investigation of E. coli and virus reductions using replicate, bench-scale biosand filter columns and two filter media (Elliott et al., 2015) · International Journal of Environmental Research and Public Health https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4586611
21. Slow Sand Filtration (Huisman and Wood, 1974) · World Health Organization https://www.susana.org/knowledge-hub/resources?id=4263
22. Giardiasis (DPDx, laboratory identification of parasites) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/dpdx/giardiasis/index.html

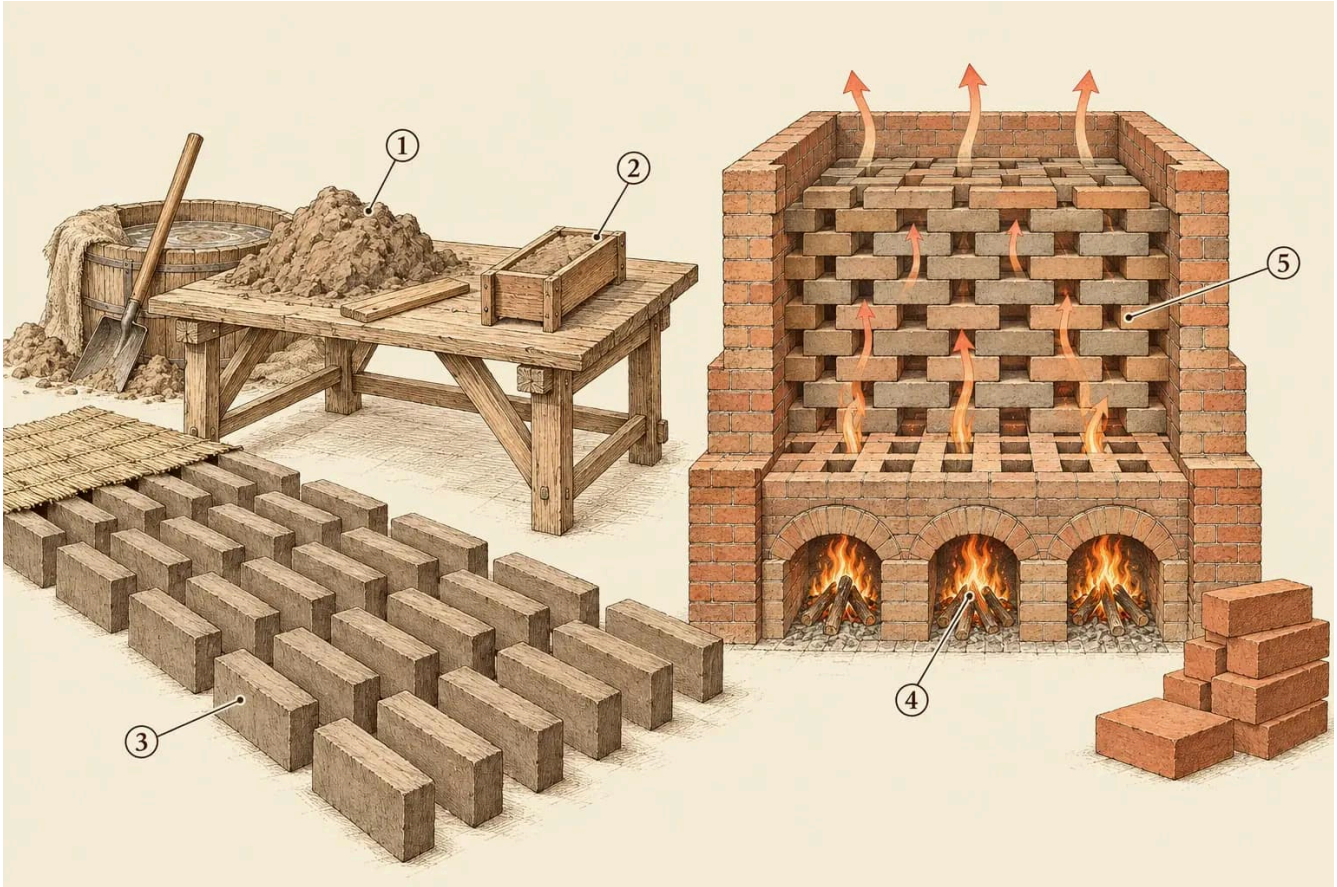
Factos verificados em 2026-10-13

Tijolos

Blocos de terra normalizados

c. 7.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Conduz a: Aqueduto (p. 145), Arco e abóbada (p. 73), Betão romano (p. 165)



1 Barro preparado 2 Molde de madeira 3 Tijolos crus a secar 4 Túnel de fogo 5 Tijolos enfornados

Um tijolo é um bloco de barro com um tamanho fixo, seco ao sol ou cozido num forno, para levantar paredes com peças iguais e fáceis de manusear. Os tijolos de barro moldados já existiam no Próximo Oriente antes de 7500 a.C.; o tijolo cozido chegou milénios depois e acabou por sustentar cidades, aquedutos e chaminés de fábrica.

O que é

Um tijolo é um pequeno bloco de terra com forma e tamanho regulares. O adobe é apenas seco ao sol; o tijolo cozido vai ao forno até o barro se transformar numa cerâmica dura. Ambos se assentam em fiadas com argamassa, e como todas as peças têm o mesmo tamanho, o construtor pode calcular as quantidades com antecedência e manter as fiadas niveladas.

A prancha mostra o trabalho de uma olaria artesanal anterior às máquinas: o barro preparado junto à mesa de moldar, os tijolos crus a secar em filas e um pequeno forno de tiragem vertical visto em corte.

Como funciona

A argila é feita de minúsculos grãos minerais achatados. Molhados, deslizam uns sobre os outros e a massa deixa-se moldar; ao secar, a água entre eles sai, os grãos aproximam-se e o bloco endurece e encolhe. A argila pura encolhe tanto que racha, por isso os oleiros juntam-lhe areia, cerâmica moída ou palha picada. Na antiga Mesopotâmia usava-se sobretudo palha ou estrume, e uma estimativa aponta para cerca de 60 kg de palha por cem tijolos.

Um adobe continua mole o suficiente para voltar a ser lama se ficar encharcado, e as paredes de terra precisam de um embasamento de pedra, de um beiral largo e de manutenção regular. A cozedura transforma a própria argila. Os minerais perdem primeiro a água ligada na sua estrutura e, perto dos 900 a 1000 °C, os grãos começam a soldar-se. O tijolo cozido já não amolece na água, e a sua cor, quase sempre vermelha, vem do ferro contido na argila.

Um molde sem fundo, areado por dentro, dá a cada tijolo o mesmo tamanho.

Num forno de tiragem vertical como o do desenho, o fogo arde em túneis na base. Os gases quentes sobem por uma grelha vazada e pelos espaços deixados entre os tijolos crus, dispostos em grelha, e saem por cima. A cozedura tem de começar devagar: a água ainda presa no barro transforma-se em vapor, e um tijolo aquecido depressa demais pode rachar ou rebentar.

Como fazer

Para fazer adobes basta terra adequada, água, palha, um molde e algumas semanas secas.

Testar a terra. Cave abaixo da camada superficial, cheia de raízes e húmus. Faça alguns adobes de ensaio: se racharem ao secar, a terra tem argila a mais e precisa de areia; se as arestas se desfizerem, precisa de mais argila.

Misturar e amassar. Desfaça a terra, molhe-a e pise-a com palha picada até obter uma pasta firme e sem grumos. Um balde de palha solta para cinco de terra é um primeiro ensaio razoável; ajuste depois conforme os adobes de ensaio, porque algumas boas terras precisam de pouca ou nenhuma palha. Deixe a mistura repousar coberta durante um dia para a água se distribuir.

Fazer o molde. Junte quatro tábuas num caixilho sem fundo, por exemplo com 30 × 15 × 10 cm por dentro, com pegas nas pontas. Molhe-o e polvilhe-o com areia para o barro se soltar.

Moldar. Pouse o molde num chão plano e areado, atire lá para dentro uma pelota de barro com força para encher os cantos, rase o topo com uma régua molhada e levante o molde bem a direito. Ponha o adobe seguinte a um dedo de distância.

Secar. Proteja os adobes do sol forte e da chuva nos primeiros dias e depois ponha-os de cutelo para o ar chegar a todas as faces. Conforme o tempo, precisam de uma a quatro semanas até poderem ser empilhados; parta um adobe de ensaio para confirmar que não resta um núcleo mais escuro e húmido. Para ter tijolos cozidos, leve algumas pequenas amostras bem secas a uma oficina de cerâmica e peça para as cozerem no forno.

> **Segurança.** Um adobe fresco pesa vários quilos: levante-o com os joelhos dobrados e faça pilhas baixas e estáveis. O pó de argila seca contém sílica fina: humedeça a terra antes de a desfazer, limpe com água em vez de varrer e use uma máscara FFP2 ou FFP3 bem ajustada sempre que o pó for inevitável. Vede ou volte a encher qualquer buraco que cave, porque nele se acumula água. A cozedura em forno envolve calor intenso e fumos; deixe-a a alguém com formação e nunca coza tijolos ainda húmidos.

História e evolução

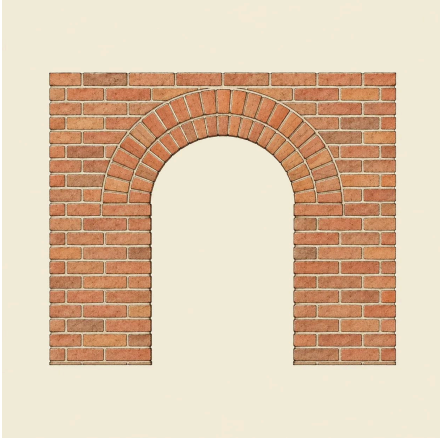
No Próximo Oriente já se erguiam paredes de terra seca ao sol no IX milénio a.C., e entre os tijolos moldados mais antigos estão os de Tell Aswad, na Síria, anteriores a 7500 a.C. Em Nemrik, no norte do Iraque, há muros do VIII milénio feitos de tijolos compridos em forma de charuto, com cerca de 51 cm. Os tijolos de Jericó, dos milénios VIII e VII a.C., eram moldados à mão e marcados com filas de dedadas que ajudavam a argamassa a agarrar.

Tijolo moldado à mão em Jericó: as dedadas davam agarre à argamassa.

Os tijolos feitos em moldes retangulares de madeira espalham-se pela Mesopotâmia no VI milénio a.C. O tijolo cozido chega mais tarde e fica de início reservado a usos especiais, porque o combustível é escasso: na Mesopotâmia aparece no período de Uruk, no IV milénio a.C., embora alguns autores datem os primeiros de antes, e na China fabrica-se em Chengtoushan por volta de 4400 a.C. Um texto sumério de cerca de 2100 a.C. descreve Gudea, soberano de Lagash, a deitar o barro no molde e a tirar o primeiro tijolo de um novo templo. As cidades do vale do Indo constroem desde o III milénio a.C. com tijolos cozidos de tamanho regular; muitos aproximam-se da proporção 1:2:4 entre espessura, largura e comprimento, embora os escavadores tenham registado vários formatos.

Roma produz tijolos cozidos normalizados em grande quantidade a partir do século I d.C., e depois de uma longa pausa o norte da Europa volta ao tijolo na Idade Média, onde falta boa pedra de construção.

O fabrico industrial começa no século XIX com máquinas que prensam o barro em moldes. Em 1858 Friedrich Hoffmann patenteia um forno anular que nunca tem de arrefecer: o fogo passa de uma câmara para a seguinte, enquanto os gases quentes secam e aquecem os tijolos que o esperam. No forno de Palmerston North, na Nova Zelândia, o fogo levava cerca de seis semanas a percorrer as suas catorze câmaras. O tijolo britânico métrico normalizado mede 215 × 102,5 × 65 mm.



Num arco, cada tijolo fica posto ao alto, com a junta virada para o centro, e a carga passa de tijolo em tijolo.

Números-chave

Entre os tijolos de barro moldados mais antigos
Tell Aswad, Síria, antes de 7500 a.C.

Tijolo britânico métrico normalizado
215 × 102,5 × 65 mm

Temperatura de cozedura
Cerca de 900 a 1000 °C para o tijolo comum

Forno contínuo
Patenteado por Friedrich Hoffmann em 1858

Fontes

1. The Appearance of Bricks in Ancient Mesopotamia (Hnaihen, Athens Journal of History 6/1, 2020) · Athens Institute for Education and Research https://www.athensjournals.gr/history/2020-6-1-4-Hnaihen.pdf
2. Thumb-pressed brick, Tell al-Sultan (Jericho) · Queen's University Library, Museum of Near Eastern Archaeology https://virtual-exhibits.library.queensu.ca/museum-of-near-eastern-archaeology/thumb-pressed-brick/
3. Hoffman Oblong Continuous Kiln, Palmerston North · Heritage New Zealand Pouhere Taonga https://www.heritage.org.nz/list-details/194/Listing
4. Brick · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Brick
5. Technical Note 9: Manufacturing of Brick · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/9-manufacturing-of-brick.pdf
6. ABCs of Making Adobe Bricks (Guide G-521) · New Mexico State University, Cooperative Extension Service https://pubs.nmsu.edu/_g/G521/
7. Shrinkage rates · Valentine Clays https://valentineclays.co.uk/pages/shrinkage-rates
8. Drying shrinkage · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/glossary/drying+shrinkage
9. Hands-on archaeology: how to make adobe bricks · Archaeology Southwest https://www.archaeologysouthwest.org/2018/11/04/hands-on-archaeology-how-to-make-adobe-bricks/
10. Stamford bricks: the hand-made process (Talking about technology) · Bournemouth University https://histru.bournemouth.ac.uk/Oral_History/Talking_About_Technology/building%20conservation%20technology/stamford_bricks_hand_made_process.htm
11. Material behaviour of unstabilised earth block masonry and its components under compression at varying relative humidity (Wiehle and Brinkmann, Case Studies in Construction Materials 17, 2022) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01663

Factos verificados em 2026-10-12

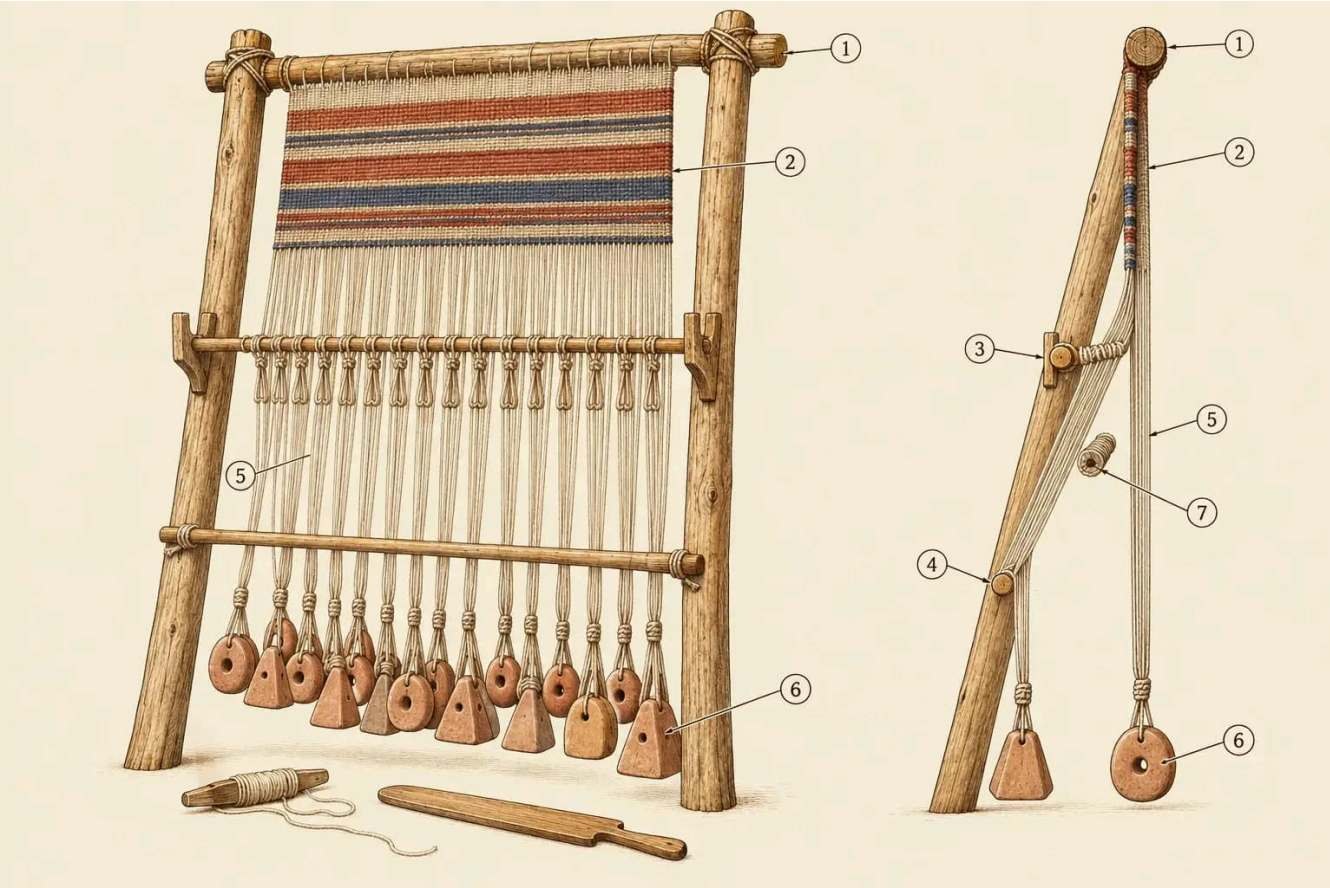
Tecelagem

Fios cruzados que formam o pano

c. 6.700 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Corda e cordame (p. 13)

Conduz a: Balão de ar quente (p. 231), Vela (p. 89), Máquina de costura (p. 270)



1 Órgão superior 2 Pano tecido 3 Vara dos liços 4 Vara de separação 5 Fios da teia 6 Pesos de tear 7 Trama na cala aberta

Tecer é fazer pano passando um fio, a trama, por cima e por baixo de um conjunto de fios esticados, a teia, passagem após passagem. O tear mantém a teia tensa e abre-a para que a trama a atravesse de uma só vez; o tear de pesos aqui desenhado remonta ao Neolítico e durou no norte da Europa até à Idade Média; ainda sobrevive em alguns lugares.

O que é

Tecer é fazer pano com dois conjuntos de fios cruzados em ângulo reto. A teia vai esticada ao comprido numa armação, o tear. A trama atravessa-a. No ponto mais simples, o tafetá, passa por cima de um fio e por baixo do seguinte, e cada nova passagem faz o contrário. O atrito chega para segurar os cruzamentos, por isso o pano dispensa cola e nós e continua maleável.

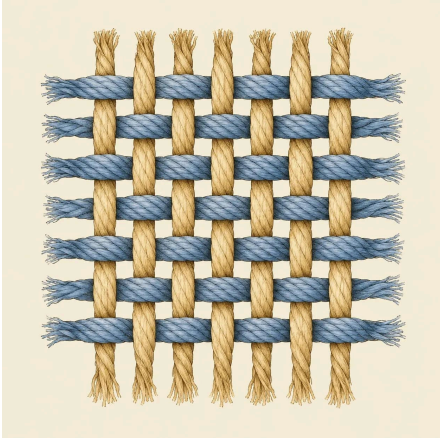
Muito antes de tecer já se torciam cordas e se entrançavam esteiras. O tear mantém centenas de fios com a mesma tensão e levanta todo um grupo deles de uma vez, e assim a trama percorre toda a largura num só movimento em vez de ser passada à mão por cima e por baixo de cada fio.

A prancha mostra um tear de pesos, usado no Próximo Oriente e na Europa desde o Neolítico, e no norte da Europa até à Idade Média: dois prumos encostam-se a uma parede, a teia pende de uma trave assente no topo e pesos de barro mantêm-na tensa.

Como funciona

A trama passa por uma abertura na teia, a cala, que neste tear é feita por duas varas. A vara de separação (4) está fixa em baixo, de um prumo ao outro. Um fio da teia em cada dois passa à frente dela e os restantes atrás. Como os prumos estão inclinados, os fios da frente saem para fora por cima da vara enquanto os de trás caem a prumo, e entre as duas camadas abre-se sozinho um espaço: a cala natural.

A vara dos liços (3) fica mais acima, à frente da teia. Uma laçada de cordel, o liço, liga-a a cada fio de trás. Quando a tecedeira puxa a vara para si e a pousa em suportes em forquilha presos aos prumos, os fios de trás passam para a frente dos outros e forma-se uma segunda abertura, a contracala. Passar a trama (7) pela cala e depois pela contracala dá o tafetá. Outras varas de liços, atadas a outros grupos de fios, permitem a sarja e os padrões.



Tafetá: a cada passagem, a trama troca os fios da teia que cobre.

Tece-se de cima para baixo. A tecedeira deita cada passagem num arco folgado, para não apertar as ourelas, e bate-a para cima contra o pano com os dedos, um pente ou uma espada de madeira chata. O pano acabado (2) pode enrolar-se no órgão superior (1), e o tear faz assim peças mais compridas do que a sua própria altura.

Cada peso (6) segura um feixe de fios da teia (5). Em ensaios do Centre for Textile Research de Copenhaga, o fio de lã fiado com um cossoiro de 4 g precisou de cerca de 13 g de tensão por fio, e um fio mais grosso, de um cossoiro de 8 g, de cerca de 19 g. Os pesos devem pender lado a lado e à mesma altura; caso contrário, enredam-se e gastam os fios.

Como construir

O grosso do trabalho vai para o fio: com seis fios de teia e dez passagens por centímetro, um metro quadrado de pano gasta pelo menos 1,6 km, mais os desperdícios e o comprimento que os fios gastam ao passar por cima e por baixo uns dos outros.

Fiar. Um fuso é um pau de cerca de 25 cm com um disco pesado, o cossoiro, perto de uma ponta. Põe-se a girar, deixa-se a torção subir pelas fibras puxadas de um punhado de lã ou de linho e enrola-se o fio quando o fuso se aproxima do chão. O fio da teia tem de ser resistente, porque aguenta os pesos.

Montar a armação. São precisos dois prumos direitos de cerca de 2 m, uma trave redonda que encaixa em entalhes no topo, uma vara de separação, uma vara dos liços e dois suportes em forquilha. Fazem-se alguns furos à volta de uma ponta do órgão: uma cavilha metida num deles e atada a um prumo impede-o de rodar, e tira-se para enrolar o pano. Encostam-se os prumos a uma parede sólida, ligeiramente inclinados, calçam-se os pés e prende-se o topo à parede ou a uma trave, para que o tear não venha para a frente quando se puxa a vara dos liços. A vara de separação e os suportes atam-se com firmeza aos prumos.

Fazer os pesos. Modelam-se anéis ou pirâmides de barro furados, deixam-se secar por completo, até deixarem de estar frios ao toque, e cozem-se num forno ou numa fogueira, por alguém com experiência; as pedras com um furo natural evitam a cozedura. Convém que pesem o mesmo; o habitual são algumas centenas de gramas cada um. É

o fio que decide quantos fios leva cada peso: a cerca de 15 g por fio, um peso de 300 g segura uns vinte. Cada fila de pesos deve ter mais ou menos a largura da teia.

Urdir. Num pequeno tear de fitas ou com tabuinhas, tece-se uma fita estreita tão comprida quanto a largura do pano, fazendo sair a trama de um lado em laçadas tão compridas como a teia pretendida: essas laçadas serão a teia. Cose-se a fita ao órgão e deixam-se cair os fios. Passa-se um fio em cada dois por trás da vara de separação. Os fios da frente e os de trás atam-se a pesos diferentes, em feixes iguais, e penduram-se os pesos de cada fila lado a lado, à mesma altura. Depois ata-se um liço entre a vara dos liços e cada fio de trás. Para uma peça mais comprida do que o tear, enrola-se teia de reserva num pequeno novelo acima de cada peso e solta-se um pouco sempre que se enrola o pano.

Tecer. Passa-se a trama pela cala natural, logo abaixo da orla do pano, e bate-se. Leva-se a vara dos liços aos suportes, passa-se a trama de volta, bate-se outra vez e devolve-se a vara ao seu lugar. Para acabar, tece-se uma fita de remate ou atam-se as pontas da teia em franja.

> **Segurança.** Carregado, o tear pesa sobretudo em cima: prenda-o a uma parede sólida, calce-lhe os pés e afaste as crianças. Um peso que cai pode partir um dedo do pé, por isso use calçado fechado. O barro húmido pode rebentar no fogo: coza apenas pesos bem secos, ao ar livre ou num forno ventilado, e mantenha-se bem afastado.

História e evolução

O pano raramente se conserva, as suas ferramentas sim: pesos de tear e cossoiros abundam nos sítios antigos.

Tecer talvez seja mais antigo do que a agricultura. Em Pavlov e Dolní Věstonice, na Morávia, fragmentos de barro cozido com mais de 26 000 anos guardam umas oitenta impressões que Olga Soffer e James Adovasio interpretam como cordéis, tecidos de trama torcida e tafetás de fibras vegetais. São impressões, não tecidos, e não se sabe se foram feitas num tear.

O tecido mais antigo conservado no Próximo Oriente e na Europa vem de Çatalhöyük, na Anatólia, de cerca de 6700-6500 a.C. É um tafetá que chegou até nós por ter sido carbonizado. Foi tido durante muito tempo por linho; em 2021 o microscópio encontrou líber de carvalho, a casca interior da árvore, em várias amostras, e outras estavam demasiado carbonizadas para se saber. É deste pano que vem a data que este catálogo dá à tecelagem: as impressões da Morávia são mais antigas, mas incertas.

Os pesos de barro, que sobrevivem à madeira, mostram o tear de pesos a espalhar-se pela Europa neolítica. Nas Américas tecia-se no tear de cintura, esticado entre uma árvore ou um poste e uma correia à volta da cintura de quem tece. O tear vertical de dois órgãos, representado em túmulos egípcios, chegou provavelmente à Europa vindo do Egito.

A partir do século XI ou XII, aproximadamente, o tear horizontal de pedais, que abre a cala com os pés, foi substituindo o tear de pesos na Europa, mais tarde nos países nórdicos. O tear de pesos continua em uso em Fitjar, no oeste da Noruega, e em Manndalen, no norte, onde tecedeiras sami o retomaram depois de 1945 para pesados cobertores de lã.

No tear de cintura, quem tece inclina-se para trás para esticar a teia e para a frente para a afrouxar.

Números-chave

Impressões têxteis mais antigas
Pavlov e Dolní Věstonice (Morávia), há mais de 26 000 anos

Tecido conservado mais antigo
Çatalhöyük (Anatólia), c. 6700-6500 a.C., em tafetá

Tensão da teia
Cerca de 13 a 19 g por fio de lã em ensaios do Centre for Textile Research de Copenhaga

Pesos de tear
De 245 a 870 g num conjunto de sete encontrado em Voss, na Noruega

Ainda em uso
Teares de pesos em Fitjar e Manndalen, na Noruega

Fontes

1. Experimental Archaeology, Part 3: Loom weights (technical report, 2007) · Centre for Textile Research, University of Copenhagen https://ctr.hum.ku.dk/research-programmes-and-projects/previous-programmes-and-projects/tools/technical_report_3__experimental_archaeology.pdf
2. Oppstadvev · Store norske leksikon https://snl.no/oppstadvev
3. Çatalhöyük – The oldest textiles at the TRC · Textile Research Centre, Leiden https://www.trc-leiden.nl/trc/index.php/en/blog/1794-catalhoeyuek-the-oldest-textile-at-the-trc
4. Upper Palaeolithic fibre technology: interlaced woven finds from Pavlov I, Czech Republic, c. 26,000 years ago · Antiquity (Adovasio, Soffer and Klíma, 1996) https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/upper-palaeolithic-fibre-technology-interlaced-woven-finds-from-pavlov-i-czech-republic-c-26000-years-ago/CD78BC4A39E2DD6958ACA29BA1BA30DA
5. Ice Age clothing said to be more advanced than previously thought · ScienceDaily / University of Illinois https://www.sciencedaily.com/releases/2000/02/000203074853.htm
6. Backstrap looms · Sam Noble Museum, University of Oklahoma https://samnoblemuseum.ou.edu/collections-and-research/ethnology/mayan-textiles/weaving-technology/backstrap-looms
7. Understanding the Archaeological Record: Reconstructing a Warp-Weighted Loom · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10351

Factos verificados em 2026-10-13

Salga

Retirar a água para travar a decomposição

c. 6.050 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Cerâmica (p. 23)

1 Sal marinho grosso 2 Pernas de porco enterradas em sal seco 3 Arenques em camadas de sal e salmoura
4 Presuntos a curar pendurados 5 Bacalhau a secar num estendal

A salga conserva a carne, o peixe e os legumes retirando-lhes a água, a eles e aos micróbios que os estragariam. Na Europa de Leste já se fervia salmoura para obter sal no VI milénio a.C., e o porco salgado, o arenque e o bacalhau alimentaram exércitos, marinheiros e cidades até à refrigeração.

O que é

A salga, ou cura, é uma das formas mais antigas de conservar alimentos. Esfrega-se a carne ou o peixe com sal seco, ou mergulha-se em salmoura, até lhes restar tão pouca água livre que as bactérias da deterioração já não conseguem crescer. Muitas vezes o alimento é depois seco, fumado ou deixado a curar. Os legumes podem, pelo contrário, ser salgados levemente, para que bactérias lácticas úteis os fermentem e os acidifiquem, como no chucrute.

A prancha reúne os métodos de uma despensa europeia anterior ao frio: sal grosso, pernas de porco enterradas numa salgadeira, arenques num barril, presuntos pendurados a secar e bacalhaus abertos a secar num estendal.

Como funciona

Todo o micróbio precisa de água disponível. Os técnicos alimentares medem-na pela atividade da água, que vale 1,0 para a água pura e desce quando o sal ou o açúcar retêm água. O limite varia de micróbio para micróbio, e algumas bactérias de intoxicações alimentares ainda crescem com valores bastante baixos, mas a grande maioria dos micróbios deixa de se multiplicar abaixo de cerca de 0,90. Uma salmoura saturada fica perto de 0,75.

Quando o sal toca na carne ou no peixe, a água do tecido sai para a solução salina mais concentrada, enquanto o sal entra devagar. As bactérias da superfície perdem água da mesma maneira: o seu conteúdo encolhe, afastando-se da parede, e deixam de crescer ou morrem. Quanto mais o sal penetra e mais água sai, mais tempo o alimento dura. Um bacalhau ou um presunto muito salgados duram meses ou anos, mas têm de ser demolhados em água doce, no frigorífico, antes de cozinhar.

O sal-gema cristaliza em cubos; um cristal que cresce mais depressa pelas arestas do que pelas faces torna-se uma «tremonha» em degraus.

O sal não esteriliza. Algumas bactérias perigosas toleram-no bem, entre elas o Staphylococcus aureus, e o Clostridium botulinum, que cresce sem ar, sobrevive na forma de esporos em carnes e peixes mal curados. Por isso a maioria dos sais de cura modernos para carne contém nitrito, que trava o botulismo e mantém a carne rosada. As receitas antigas usavam salitre, que as bactérias da salmoura transformam em nitrito.

A salga leve funciona de outra maneira. Com cerca de 2 a 2,5 % de sal, a couve guarda água suficiente para as bactérias lácticas, que toleram o sal melhor do que a maioria dos micróbios da deterioração. Estas transformam os seus açúcares em ácido láctico, e é a acidez que conserva.

Como fazer

Curar carne em casa com segurança exige uma receita testada, sal de cura pesado e uma divisão fresca e controlada. O mais seguro para começar é o sal com couve: o chucrute.

Preparar a couve. Escolha cabeças firmes e frescas, tire as folhas exteriores e o talo e corte em tiras finas de cerca de 5 mm. Pese-a.

Salgar. Por cada 2,25 kg de couve, misture 3 colheres de sopa de sal para conservas (sem iodo nem antiaglomerantes), cerca de 2 a 2,5 % do peso. Calque-a bem num pote de barro ou num frasco grande limpo, mão-cheia a mão-cheia, até o sal fazer sair o suco.

Cobrir e colocar um peso. A couve tem de ficar sempre debaixo da sua própria salmoura. Se o suco não a cobrir, junte logo uma salmoura de 1½ colher de sopa de sal por cada 950 ml de água fervida e fria. Ponha por cima um prato com um peso, por exemplo um saco fechado cheio de salmoura, e tape com um pano.

Deixar fermentar. Entre 21 e 24 °C, a couve leva cerca de três a quatro semanas; entre 15 e 18 °C, cinco a seis. Abaixo de 15 °C pode não fermentar, e acima de 24 °C pode amolecer. À superfície pode formar-se uma película branca fina: retire-a. O chucrute está pronto quando passou o tempo previsto, deixou de fazer bolhas e a couve sabe claramente ácida em toda a massa. Depois conserva-se meses no frigorífico.

> **Segurança.** Mantenha sempre os legumes debaixo da salmoura e use utensílios limpos. Deite fora todo o lote se aparecer bolor felpudo ou colorido em qualquer ponto, ou se o chucrute ficar viscoso, rosado ou escuro, ou cheirar a podre. Não improvise enchidos, presuntos nem peixe salgado: o botulismo é raro mas mortal, e o sal nitritado é tóxico em excesso. Use só o produto, a dose e a precisão de pesagem indicados por uma receita testada, rotule-o e guarde-o longe das crianças. Os alimentos curados têm muito sal: quem tiver de o limitar deve demolhá-los bem ou evitá-los.

História e evolução

O briquetage: fervia-se a salmoura em toscos tabuleiros de barro sobre o fogo, que depois se partiam para soltar os pães de sal.

Fazia-se sal muito antes da escrita. Em Poiana Slatinei, perto de Lunca, no nordeste da Roménia, uma nascente salgada cerca de seis vezes mais concentrada do que a água do mar está rodeada por um monte de cinza e terra queimada com cerca de três metros de altura, deixado por gente que fervia a salmoura ao lume desde cerca de 6050 a.C. Os escavadores não sabem se esse sal servia para conservar alimentos, para o gado ou para trocas, pelo que a data assinala a produção de sal mais antiga conhecida, e não o primeiro alimento salgado.

Mais tarde, na pré-história europeia, fervia-se a salmoura em recipientes de barro grosseiro pousados em suportes de barro sobre o fogo, um método chamado briquetage. Os recipientes partiam-se para soltar os pães de sal, e montes dos seus fragmentos ainda assinalam os sítios. Em Hallstatt, na Áustria, extraía-se sal-gema debaixo da terra desde a Idade do Bronze, e nos séculos XIII e XII a.C. salgava-se ali carne de porco em grande escala em tinas de madeira enterradas, das quais se conhecem hoje oito.

Os gregos salgavam peixe, o tarichos, e os romanos chamavam salsamentum à carne e ao peixe salgados; no século II a.C., a Gália mandava para Roma grandes quantidades de porco salgado. Na Europa católica, o peixe salgado, e sobretudo o bacalhau seco, tornou-se a comida corrente das sextas-feiras e da Quaresma, quando a carne era proibida.

O bacalhau da Terra Nova já era salgado para os mercados europeus no século XVI, e no XVII o sal barato do sul da Europa tornou a salga rentável para as nações pesqueiras do norte; o bacalhau salgado tornou-se um dos lados do comércio triangular atlântico. As conservas, desde o início do século XIX, e a refrigeração no século XX tomaram grande parte desse papel, mas o presunto, o toucinho e o peixe salgado ainda se conservam com sal, e o chucrute ainda fermenta na sua própria salmoura.

O bacalhau, sem cabeça, aberto e seco, conserva-se durante anos e tem de ser demolhado no frigorífico um dia ou mais antes de ser cozinhado.

Números-chave

Produção de sal mais antiga conhecida
Poiana Slatinei, Lunca (Roménia), cerca de 6050 a 5500 a.C.

Limiar abaixo do qual a maioria dos micróbios deixa de se multiplicar
Atividade da água inferior a cerca de 0,90

Atividade da água de uma salmoura saturada
Cerca de 0,75 (água pura: 1,0)

Salga da Idade do Bronze em Hallstatt
Tinas de madeira dos séculos XIII e XII a.C., sobretudo para porco

Fontes

1. The earliest salt production in the world: an early Neolithic exploitation in Poiana Slatinei-Lunca, Romania (Weller and Dumitroaia, 2005) · Antiquity https://www.antiquity.ac.uk/projgall/weller306/
2. Bronze Age meat curing vats · Naturhistorisches Museum Wien https://www.nhm.at/hallstatt/en/trading_hub/meat_processing_industry/meat_curing_vats
3. Is there a common water-activity limit for the three domains of life? (Stevenson et al., ISME Journal, 2015) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4438321/
4. Sauerkraut · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/ferment/recipes/sauerkraut/
5. Curing (food preservation) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Curing_(food_preservation)
6. Dried and salted cod · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Dried_and_salted_cod
7. One-directional modelling to assess the mechanistic actions of power ultrasound on NaCl diffusion in pork (McDonnell et al., Ultrasonics Sonochemistry 40, 2018) · Elsevier https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.06.025
8. The physics behind ham production (Parnovsky and Varlamov, 2026) · arXiv https://arxiv.org/abs/2607.18173
9. Interactive comment on Rose et al.: water activity of aqueous NaCl after Archer's evaluation (Clegg, 2007) · Atmospheric Chemistry and Physics Discussions https://acp.copernicus.org/preprints/7/S4180/2007/acpd-7-S4180-2007.pdf
10. Water Activity of Foods (MF3674) · K-State Research and Extension https://bookstore.ksre.ksu.edu/download/water-activity-of-foods_MF3674
11. Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food, Appendix 3: Bacterial Pathogen Growth and Inactivation (Table 3-A) · US Food and Drug Administration https://www.fda.gov/media/99598/download

Factos verificados em 2026-10-12

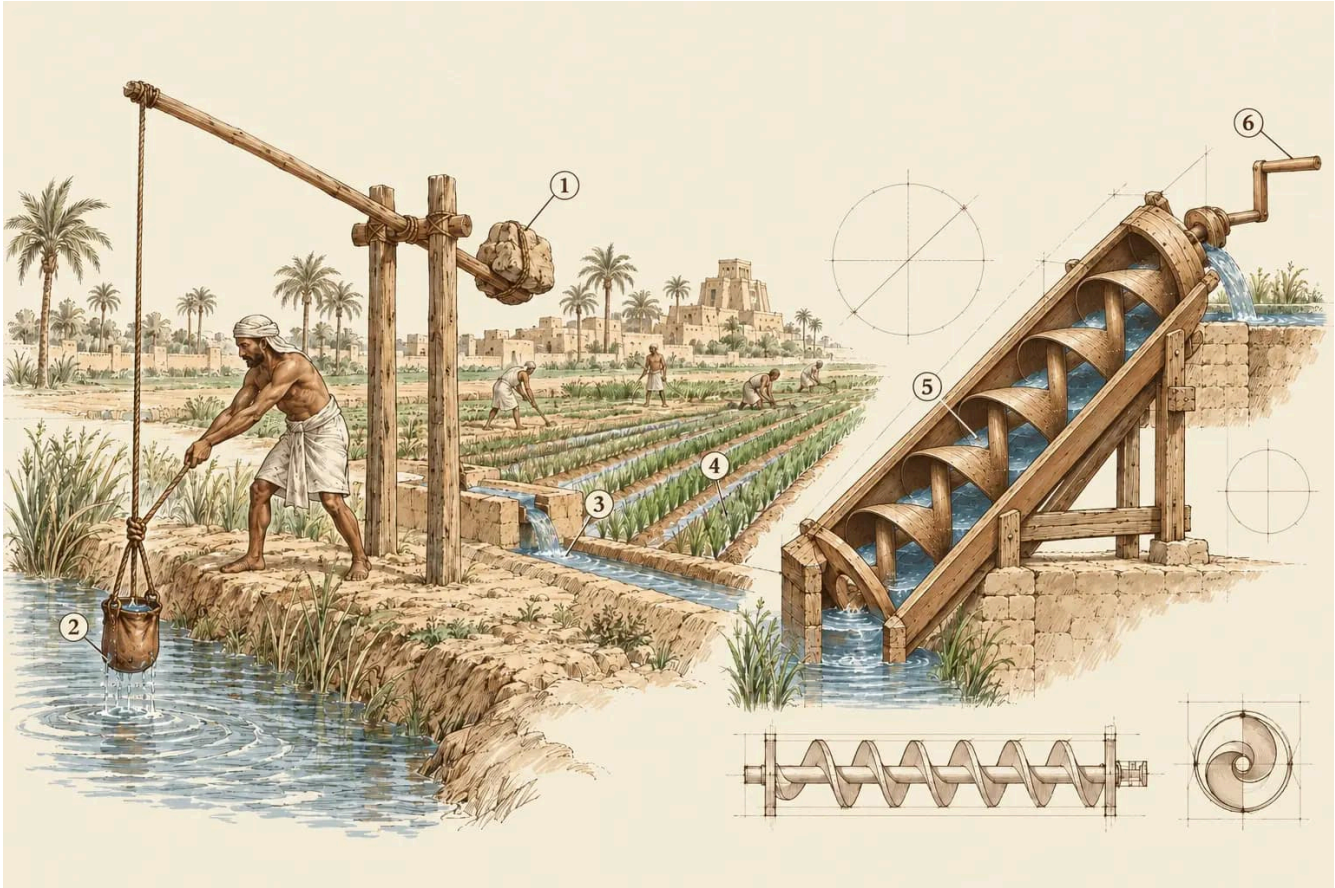
Irrigação

Levar a água às plantações

c. 6.000 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)

Conduz a: Aqueduto (p. 145)



1 Contrapeso da cegonha 2 Balde de couro 3 Canal de adução 4 Sulcos entre as fileiras 5 Hélice do parafuso 6 Manivela

A irrigação leva às plantações a água que a chuva sozinha não consegue dar, deixando-a correr por canais de declive suave ou elevando-a de um rio ou de um poço. Os canais mais antigos que se conhecem foram escavados há cerca de oito mil anos nas planícies secas da Mesopotâmia, onde também se percebeu cedo que um campo regado sem drenagem pode acabar por salinizar.

O que é

Irrigar é dar água às plantas quando precisam dela, sem esperar pela chuva. No sul do Iraque ou no vale egípcio do Nilo não há agricultura sem rega; noutros sítios ela aumenta as colheitas e permite uma segunda cultura na estação seca.

Se a nascente está mais alta do que o campo, o declive faz o trabalho: um canal sai do rio a montante e desce suavemente até às terras. Se a água está mais baixa, entre margens altas ou no fundo de um poço, alguém tem de a elevar. A estampa mostra uma cegonha (o *shaduf* egípcio) que alimenta um canal e os seus sulcos, e um parafuso de Arquimedes.

Como funciona

Num leito demasiado plano, a água abranda, deposita o lodo e deixa crescer os juncos; num demasiado inclinado, escava o fundo e rompe as margens. Um pequeno canal de terra desce muitas vezes pouco mais de um metro por quilómetro, e a FAO recomenda para os sulcos um declive entre 0,05 e 0,5 %. Por isso os canais seguem as curvas de nível e perdem altura devagar.

No campo, a água inunda um tabuleiro plano fechado por pequenos cômoros de terra e infiltra-se, ou corre pelos sulcos entre as fileiras e molha os camalhões pelos lados.

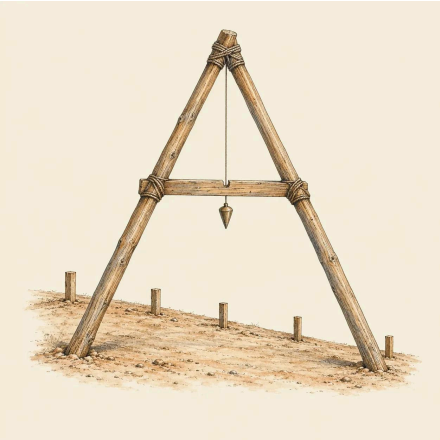
Elevar um metro cúbico de água a um metro de altura exige pelo menos 9,8 quilojoules, a que se soma o atrito; uma máquina só torna esse trabalho mais fácil de fornecer. A cegonha é uma alavanca com um balde no braço comprido e uma pedra ou um torrão de barro seco no curto. O agricultor puxa o balde vazio até à água, o que levanta o peso, e o peso sobe o balde cheio. Em medições de campo no Chade, uma pessoa elevava de 39 a 130 litros por minuto a alturas de 1,8 a 6,2 m. Com o mesmo esforço, quanto mais alto, menos água chega.

A cegonha: assim que o agricultor larga a vara, o contrapeso sobe o balde cheio.

O parafuso de Arquimedes é uma hélice que gira dentro de um tubo inclinado cerca de 30°. A água fica no ponto baixo de cada espira, e esse ponto sobe à medida que o parafuso roda, levando uma bolsa de água. Move grandes volumes, mas só alguns metros acima; quanto mais inclinado, mais pequena é cada bolsa.

Toda a água de rega traz algum sal dissolvido. As plantas e o sol levam a água e deixam o sal. As fugas dos canais e dos campos fazem também subir o lençol freático, e a água salgada sobe então até às raízes. Um campo só se mantém saudável se, de tempos a tempos, um excedente de água arrastar o sal para baixo e uma drenagem, natural ou escavada, o levar embora. Caso contrário, o sal acumula-se, por vezes numa crosta branca, e as colheitas caem.

Como construir



O nível em A: quando o fio de prumo cai sobre a marca, os dois pés estão à mesma altura.

Fazer um nível em A. Atar no topo duas varas de cerca de 2,80 m, com os pés afastados 4 m, e fixar uma travessa a cerca de 1 m do chão. Pendurar um fio de prumo no vértice. Assentar o cavalete em duas estacas, marcar onde o fio cruza a travessa, virá-lo ao contrário e marcar de novo: o ponto a meio das duas marcas indica o nível.

Traçar o canal. Avançar o cavalete a partir da tomada de água, cravando uma estaca em cada pé. Para dar declive, pôr um calço sob o pé de jusante e deslocar esse pé até o prumo cair sobre a marca, cravando aí a estaca: um calço de 1 cm num cavalete de 4 m dá 0,25 %. Cavar ao longo das estacas e calcar a terra retirada num cômoro do lado de baixo.

Abrir os sulcos. Tirá-los do canal com o mesmo declive suave, afastados de 30 a 60 cm em solo arenoso e de 75 cm a 1,50 m em argila, cada um alimentado por um entalhe na margem. Deixar correr a água até a terra do fim do sulco estar húmida à profundidade das raízes, fechar então o entalhe e levar a ponta dos sulcos a uma vala de escoamento, para que o excesso saia do campo.

Montar uma cegonha. Cravar bem dois postes à beira da água, com uma travessa sobre a qual gira uma vara de três a quatro metros, a um quarto do seu comprimento. Pendurar um balde no braço comprido e uma pedra ou um saco de terra no curto, acertando o peso até um balde cheio subir com um leve empurrão.

Ou enrolar um pequeno parafuso. Enrolar um tubo flexível à volta de uma vara, avançando cada espira mais ou menos a espessura da vara. Montá-la a cerca de 30° sobre dois apoios, baixa o bastante para a boca do tubo mergulhar na água durante parte de cada volta, e pôr uma manivela em cima. Rodá-la no sentido em que a boca apanha a água ao entrar nela. Se nada subir, experimentar primeiro o outro sentido e só depois baixar o ângulo ou apertar as espiras.

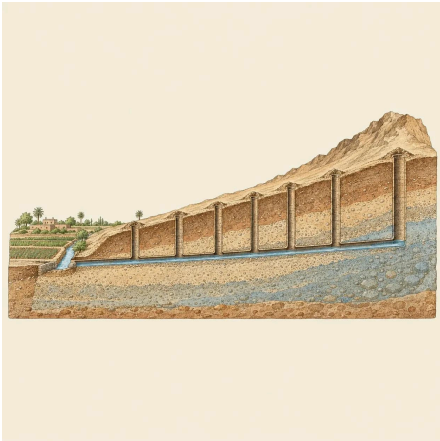
> **Segurança.** Há quem se afogue mesmo em canais estreitos de margens íngremes e escorregadias: nunca trabalhar sozinho junto à água e manter as crianças afastadas. Manter as valas pouco fundas, não mais do que o joelho, e nunca descer a uma vala mais funda: as paredes podem desabar sem aviso. Deixar a terra longe da borda. Não ficar no percurso do contrapeso da cegonha. Eliminar em poucos dias a água parada, onde se criam mosquitos. Onde existe a bilharziose, os parasitas vivem em água doce, parada ou corrente, e entram pela pele: evitar qualquer contacto da pele com a água dos canais. A água de rega não é água potável.

História e evolução

Em Choga Mami, no leste do Iraque, perto da fronteira com o Irão, os arqueólogos encontraram canais de cerca de 6000 a.C. que interpretam como valas de rega; alguns situam-nos mais perto de 5500 a.C. Mais tarde, as cidades da Suméria viveram dos canais do Tigre e do Eufrates, e textos de Lagash descrevem redes completas por volta de 2400 a.C.

No Egito, diques de terra dividiam a planície aluvial em bacias. Durante a cheia, comportas deixavam entrar a água, que ali ficava cerca de um mês antes de ser escoada para a sementeira. A cegonha, representada num selo mesopotâmico de cerca de 2200 a.C., chegou ao Egito no II milénio a.C.

Autores gregos atribuem a Arquimedes, no século III a.C., o parafuso usado no Egito; a assirióloga Stephanie Dalley lê numa inscrição de Senaqueribe, por volta de 700 a.C., a descrição de parafusos de bronze em Nínive, uma leitura ainda discutida. Os qanats, galerias que conduzem a água subterrânea ao longo de quilómetros, são em geral atribuídos ao Irão do I milénio a.C., embora sejam difíceis de datar; em 2015 ainda lá funcionavam cerca de 37 000.



Um qanat capta a água subterrânea sob as colinas e trá-la à superfície por uma galeria.

Em 1958, Thorkild Jacobsen e Robert Adams defenderam que o aumento do sal levou os agricultores sumérios a trocar o trigo pela cevada, mais resistente; Marvin Powell contestou essa teoria em 1985. A rega gota a gota, desenvolvida em Israel pelo engenheiro Simcha Blass e fabricada pela Netafim desde 1965, leva hoje a água ao pé de cada planta.

Números-chave

Primeira irrigação por canais conhecida

Choga Mami, leste do Iraque, por volta de 6000 a.C. (algumas estimativas: 5500 a.C.)

Inclinação do parafuso de Arquimedes

Cerca de 30° em geral; Vitrúvio usa um triângulo 3-4-5, cerca de 37°

Parte das terras cultivadas

Cerca de 18 % das terras aráveis do mundo eram irrigadas em 2000 (FAO)

Débito de uma cegonha, uma pessoa

39–130 litros por minuto, para alturas de 1,8 a 6,2 m (medições de campo no Chade)

Declive dos sulcos

0,05–0,5 %, ou seja, de 0,5 a 5 m de desnível por quilómetro (FAO)

Fontes

1. Choga Mami · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Choga_Mami
2. Dating Ancient Canal Systems Using Radiocarbon Dating and Archaeological Evidence at Tello/Girsu (Egberts et al., 2023) · Radiocarbon 65(4), Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/radiocarbon/article/dating-ancient-canal-systems-using-radiocarbon-dating-and-archaeological-evidence-at-tellogirsu-southern-mesopotamia-iraq/DFCB7F569B744396C9E4BDA923A8EB07
3. Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide (Yannopoulos et al., 2015) · Water 7(9), MDPI https://www.pumpfundamentals.com/pumps%20historical.pdf
4. Shadoof · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shadoof
5. The Ten Books on Architecture, Book X (water screw, ch. 6) · Vitruvius, LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Archimedes' screw: optimal design · Chris Rorres, New York University https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/optimal.html
7. The mystery of the Hanging Garden of Babylon (Stephanie Dalley) · Oxford University Press https://blog.oup.com/2013/06/mystery-hanging-garden-babylon/
8. Ancient Egypt water engineering · University of Wisconsin–Madison, Ancient Engineering Technologies https://ancientengrtech.wisc.edu/ancient-egypt-water-engineering
9. Qanat · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat
10. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 2 Basin irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e03.htm
11. Irrigation Water Management: Irrigation Methods, ch. 3 Furrow irrigation · FAO http://www.fao.org/4/s8684e/s8684e04.htm
12. Canals, Annexes 2 and 3: How to construct a canal; How to determine the slope of a canal alignment · FAO http://www.fao.org/4/ai585e/ai585e07.pdf
13. Simple methods for aquaculture: contour levelling methods (A-frame level) · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707e/x6707e06.htm
14. Irrigation Water Management: Introduction to Irrigation, ch. 7 Salinity · FAO https://www.fao.org/4/R4082E/r4082e08.htm
15. The Challenge of Salinization · Soil Science Society of America https://soils4teachers.org/files/s4t/know-soil-challenge-of-salinization.pdf
16. Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture (Jacobsen and Adams, 1958) · Science 128, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00116827
17. Salt, Seed, and Yields in Sumerian Agriculture. A Critique of the Theory of Progressive Salinization (Powell, 1985) · Zeitschrift für Assyriologie 75, KeiBi catalogue, University of Tübingen https://keibi.uni-tuebingen.de/Record/KEI00062118
18. Water factsheet · FAO https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faowater/docs/FAOWfactsheet.pdf
19. What Israeli drips did for the world · The Times of Israel https://www.timesofisrael.com/what-israeli-drips-did-for-the-world/
20. Schistosomiasis fact sheet · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/schistosomiasis
21. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw (Rorres, 2000) · Journal of Hydraulic Engineering 126(1), ASCE https://math.nyu.edu/Archimedes/Screw/optimal/screw.pdf
22. Water Lifting Devices (Fraenkel), 3.6.3 Archimedean screw and open screw pumps · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E06.htm
23. Water Lifting Devices (Fraenkel), 4.2 Human power · FAO Irrigation and Drainage Paper 43 https://www.fao.org/4/ah810e/AH810E08.htm

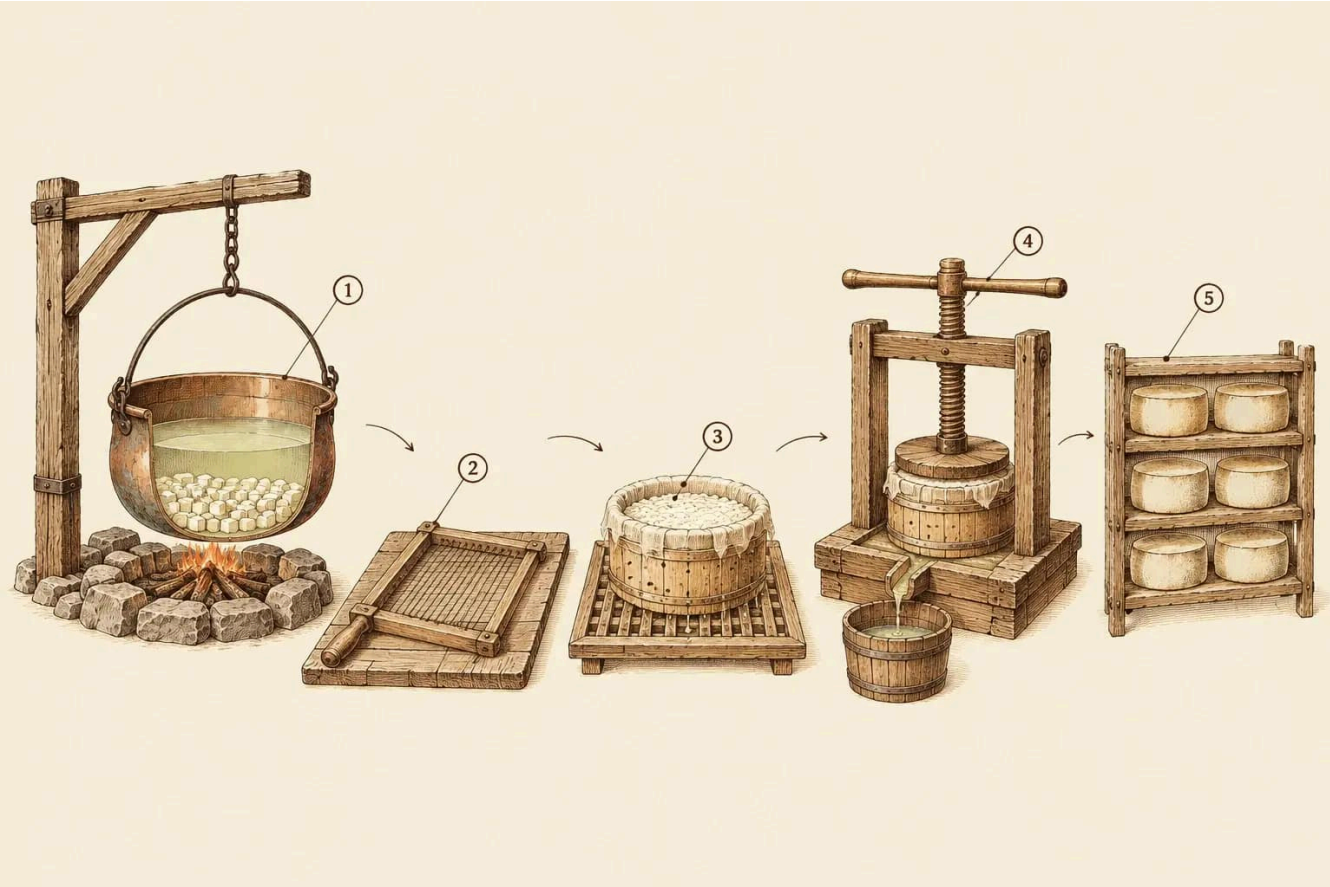
Factos verificados em 2026-10-14

Queijo

Leite que dura meses

c. 5.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Cerâmica (p. 23)



1 Caldeira de cobre com a coalhada cortada no soro 2 Lira de cortar a coalhada 3 Forma forrada com um pano 4 Prensa de fuso 5 Prateleiras de cura

O queijo é leite cuja proteína coalhou, se separou do soro e muitas vezes foi salgada e curada, de modo que dura muito mais do que o leite fresco. Restos de gordura láctea em vasos neolíticos furados mostram que já se fazia na Europa há mais de 7000 anos.

O que é

O queijo é um alimento sólido obtido fazendo coalhar a proteína do leite e escorrendo a sua parte aquosa, o soro. Os queijos frescos comem-se em poucos dias; os de pasta dura são prensados, salgados e curados durante meses ou anos. Em qualquer caso, perde-se a maior parte da água, e com ela grande parte da lactose, o açúcar do leite que muitos adultos digerem mal.

A prancha acompanha um queijo de quinta do século XVIII pelas suas etapas: a coalhada cortada numa caldeira de cobre sobre o lume, a lira de fios que a cortou, uma forma forrada com um pano, uma prensa de fuso e as prateleiras onde os queijos curam.

Como funciona

O leite é sobretudo água com gotículas de gordura, lactose e proteínas. Cerca de quatro quintos da proteína do leite de vaca são caseínas, que flutuam em minúsculos aglomerados chamados micelas. Cada micela tem uma camada exterior felpuda feita de uma caseína própria, a caseína kappa, que mantém os aglomerados afastados.

O coalho, tirado tradicionalmente do estômago de um vitelo novo, contém a enzima quimosina. Esta corta a caseína kappa num ponto preciso e rapa a camada felpuda. Com a ajuda do cálcio do leite, as micelas a descoberto juntam-se num gel mole, a coalhada, que prende a gordura. Os queijeiros costumam juntar o coalho ao leite a cerca de 30 a 32 °C. A acidez também coalha o leite, muitas vezes com a ajuda do calor: o paneer faz-se juntando sumo de limão ou ácido cítrico ao leite quente.

O corte da coalhada: quanto mais pequenos os cubos, mais soro sai e mais duro fica o queijo.

Quando o gel está firme, o queijeiro corta-o em cubos. De cada face cortada escorre soro. Mexendo e aquecendo devagar sai mais, e o tamanho dos cubos decide quão seco será o queijo. A coalhada vai depois para as formas e é prensada, salgada à superfície ou em salmoura e posta a curar. Durante a cura, bactérias e enzimas partem proteínas e gorduras em moléculas mais pequenas que dão o sabor e mudam a textura. O sal puxa a água da superfície, trava os micróbios indesejados e ajuda a formar a casca.

Como fazer

O queijo mais simples de fazer em casa é o paneer, coalhado com calor e ácido e comido fresco. São precisos 2 litros de leite de vaca gordo pasteurizado, cerca de 5 g de ácido cítrico dissolvidos em 250 ml de água (ou o sumo coado de dois limões), uma panela de fundo espesso, um termómetro, um passador, um pano de queijo, uma tábua e um peso de 2 a 3 kg.

Aquecer o leite. Leve o leite a 85 ou 90 °C, mexendo para não pegar ao fundo, tire-o do lume e deixe-o descer até cerca de 70 °C. Se coalhar muito mais quente, o queijo fica duro e seco; muito mais frio, fica húmido.

Coalhar. Junte o ácido aos poucos, mexendo com suavidade, até se separarem flocos brancos e o soro ficar límpido e amarelo-esverdeado. Pode não ser preciso todo. Deixe a panela quieta durante dez minutos.

Escorrer e prensar. Forre o passador com o pano, deite a coalhada e deixe escorrer o soro. Dobre o pano por cima, ponha a tábua e o peso e prense durante 30 a 60 minutos, até o bloco se aguentar.

Arrefecer e guardar. Corte o bloco em pedaços e mergulhe-os uma ou duas horas em água gelada para ficarem firmes. Guarde o paneer no frigorífico a 4 °C ou menos e coma-o em três dias. Dois litros de leite de vaca dão cerca de 350 g.

Os queijos prensados com coalho que curam durante semanas exigem um fermento bem doseado, controlo da acidez em cada fase e uma cave à temperatura e humidade certas. Aprenda-os com uma receita completa e testada, ou num curso, antes de tentar.

> **Segurança.** Use leite pasteurizado: o leite cru pode trazer listeria, E. coli e outras bactérias perigosas, e os queijos moles de leite cru são uma fonte conhecida de listeriose, um risco grave na gravidez. O leite quente queima e transborda com facilidade: mantenha as crianças longe da panela. Limpe cada utensílio, ponha o queijo no frio logo que estiver feito e não confie no cheiro nem no aspeto para avaliar a segurança: deite fora qualquer queijo guardado tempo demais, demasiado quente, ou que cheire ou pareça anormal.

História e evolução

A maioria dos adultos das primeiras comunidades agrícolas não digeria a lactose, ao contrário das crianças. Ao escorrer o soro, o queijo perde quase toda a lactose, e no iogurte as bactérias decompõem uma parte. Na costa da Dalmácia, na Croácia, aparecem restos de leite em cerâmicas de há cerca de 7700 anos, e restos de lacticínios fermentados, queijo fresco ou iogurte, de há cerca de 7200 anos.

Um coador neolítico de cerâmica como os da Cujávia, na Polónia, que guardavam gorduras lácteas: provavelmente um escorredor de queijo.

Na Cujávia, no centro da Polónia, uma equipa dirigida por Mélanie Salque, da Universidade de Bristol, analisou 50 fragmentos de 34 vasos furados dos primeiros agricultores da Europa central, com cerca de 7000 a 7500 anos, e encontrou gorduras lácteas em abundância. Nenhuma molécula é exclusiva do queijo, mas separar a coalhada do soro é o uso evidente desses coadores, e o estudo de 2012 considera-os a prova direta mais antiga do fabrico de queijo.

O queijo mais antigo conservado tem cerca de 3600 anos e estava junto de múmias do cemitério de Xiaohe, no Xinjiang. O autor romano Columela, por volta de 65 d.C., descreveu a coagulação com coalho, a prensagem, a salga e a cura quase como se fazem hoje.

Os mosteiros medievais conservaram e aperfeiçoaram muitos queijos, e as referências ao roquefort nos registos da abadia de Conques remontam a 1070. Nos Estados Unidos, o queijo continuou a ser um produto de quinta até 1851, quando Jesse Williams, no condado de Oneida, no estado de Nova Iorque, começou a fazê-lo com o leite reunido das quintas vizinhas: foi a primeira fábrica de queijo dos Estados Unidos. O extrato de coalho comercial surgiu nas décadas de 1860 e 1870, e depois vieram as culturas bacterianas puras, que tornaram o fabrico muito mais regular. Hoje a maior parte do coalho é quimosina produzida por microrganismos.

Os olhos redondos de alguns queijos alpinos são bolhas de dióxido de carbono produzido por bactérias durante a cura.

Números-chave

Prova direta mais antiga
Gorduras lácteas em coadores de cerâmica, Cujávia (Polónia), há cerca de 7000 a 7500 anos

Parte da proteína do leite que coalha
As caseínas, cerca de 80 % da proteína do leite de vaca

Temperatura habitual de coagulação com coalho
Cerca de 30 a 32 °C

Primeira fábrica de queijo dos Estados Unidos
Jesse Williams, condado de Oneida (Nova Iorque), 1851

Fontes

1. Say cheese! Central European farmers did, 7,500 years ago · NBC News https://www.nbcnews.com/id/wbna50177947
2. Evidence of 7,200-year-old cheese making found on the Dalmatian Coast · Penn State University https://www.psu.edu/news/research/story/evidence-7200-year-old-cheese-making-found-dalmatian-coast
3. Extent of κ-casein hydrolysis during renneting of bovine milk (Kayihura, Food Science & Nutrition, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10916671/
4. Technology of paneer · INFLIBNET e-PG Pathshala (Technology of Milk and Milk Products) https://ebooks.inflibnet.ac.in/ftp04/chapter/technology-of-paneer/
5. History of cheese · International Dairy Foods Association https://www.idfa.org/news-views/media-kits/cheese/history-of-cheese
6. Cheese · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cheese

Factos verificados em 2026-10-12

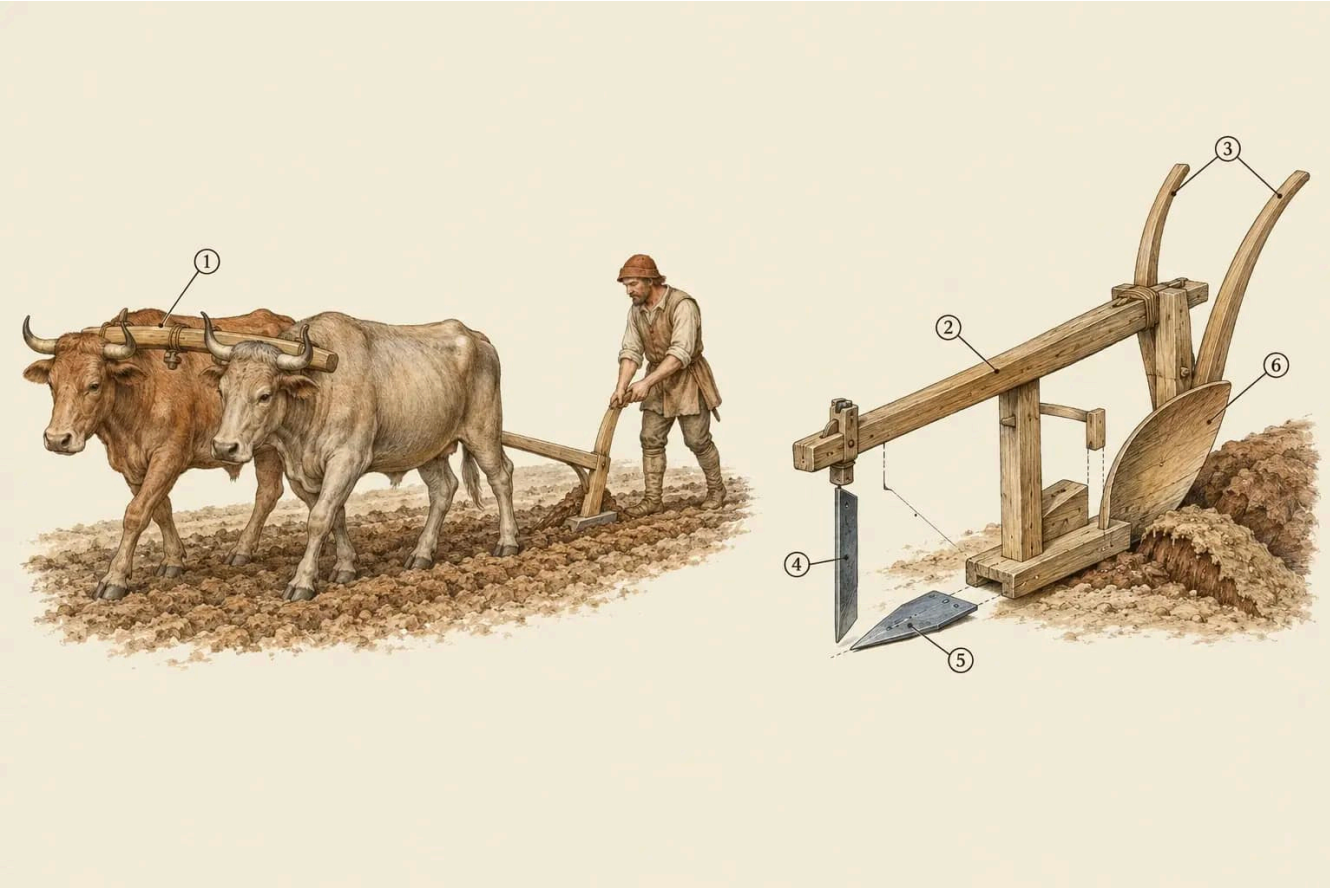
Arado

Abrir a terra para a semente

c. 5.000 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5), Corda e cordame (p. 13)

Conduz a: Rotação de culturas (p. 109)



1 Canga 2 Timão 3 Rabiças 4 Sega 5 Relha 6 Aiveca

O arado é puxado através da terra para cortar e soltar o solo antes da sementeira. Os primeiros arados simples apenas riscavam um sulco; o arado de aiveca, que revira a terra, abriu ao cultivo os solos pesados e húmidos do norte da Europa.

O que é

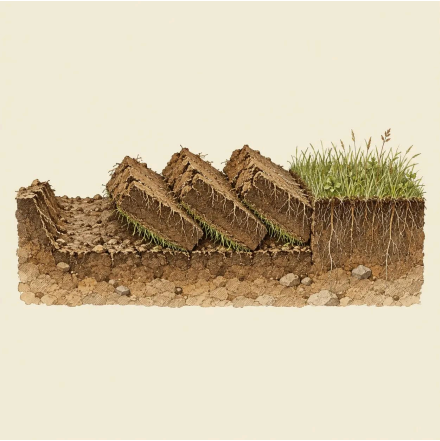
O arado é uma lâmina arrastada pela terra por pessoas, animais ou um motor. Parte a camada superficial do solo, enterra as ervas daninhas e os restos da última colheita e solta a terra para a grade depois desfazer os torrões e preparar a sementeira. Com um arado e uma junta de bois, uma família cultivava muito mais terra do que com uma enxada ou um pau de cavar.

O arado simples, ou de raspar, tem uma relha pontiaguda que se arrasta pelo solo e abre um rego pouco fundo sem revirar a terra. O arado de aiveca corta uma fatia de terra e vira-a ao contrário. A prancha mostra os dois: à esquerda, bois a puxar um arado simples; à direita, as peças de um arado de aiveca.

Arado todo de madeira.

Como funciona

O arado simples é uma cunha. A relha avança num ângulo baixo, poucos centímetros abaixo da superfície, e empurra a terra para cima e para os lados. Solta o solo sem o inverter, o que convém aos terrenos leves e secos, onde é preciso guardar a humidade. Muitas vezes lavrava-se o campo duas vezes, a segunda em cruz com a primeira, e por isso estes campos tendiam a ser quadrados.



As leivas viradas encostam-se umas às outras, com a erva para baixo.

No arado de aiveca, três peças trabalham em sequência. A sega, uma faca vertical presa ao timão, corta o solo à frente. A relha, uma lâmina plana junto ao fundo, solta a fatia por baixo. A aiveca, uma tábua curva atrás da relha, levanta a fatia, torce-a e deita-a ao contrário contra a anterior. Ervas e restolho ficam enterrados e a terra de baixo exposta ao ar e à geada.

Uma aiveca fixa lança sempre a terra para o mesmo lado. Os lavradores medievais trabalhavam cada faixa comprida à volta da sua linha central, de modo que cada passagem virava a terra para o meio e a faixa ia subindo até formar um camalhão, o que ajudava a drenar o barro húmido.

Um arado simples e leve precisa de um ou dois animais. Os arados pesados medievais, em terreno argiloso, podiam exigir até oito bois. Hoje um trator puxa vários corpos lado a lado, cada um a virar uma fatia de 20 a 30 centímetros de fundo.

Como construir

Um arado de garganta simples faz-se só de madeira, com machado, faca e trado. Os passos abaixo são um esboço, sem desenhos cotados.

Encontrar a madeira. Procure um ramo de freixo, carvalho ou outra madeira dura, com uma curva natural onde um galho grosso encontra outro mais fino. O braço comprido será o timão; o curto, cortado com cerca de 40 centímetros, será a relha e a sola. Uma peça curva crescida inteira é muito mais forte do que uma junta.

Talhar a relha. Desbaste o braço curto até uma ponta romba, plana por baixo. Deve tocar o chão a cerca de 30 graus com o timão erguido à altura da canga. A madeira nua gasta-se depressa, por isso talhe uma ponta de reserva; uma ponteira de ferro dura muito mais.

Pôr a rabiça. Fure o timão logo acima da relha e encaixe uma rabiça vertical, apertada com cunhas, para o lavrador guiar e carregar para baixo.

Fazer a canga. A canga de pescoço é uma trave talhada para assentar à frente da cernelha, com arcos de madeira ou correias a envolver cada pescoço. Ate a ponta do timão ao meio da canga com corda ou cavilha de madeira.

Lavrar. Use apenas bois já habituados à canga, com um boieiro experiente à frente deles. Comece com passagens curtas em terra húmida, sem estar encharcada, e carregue na rabiça para manter a relha enterrada.

> **Segurança.** Os bois são fortes e podem assustar-se. Nunca se ponha entre um animal e o arado, use no engate um nó de desengate rápido e dê descanso e água à junta. Pare logo se a canga roçar: uma canga mal ajustada causa feridas e lesões. Mantenha os pés longe da relha.

História e evolução

O arado simples surgiu depois de o gado ser domesticado para puxar, embora ninguém saiba exatamente quando. As marcas de arado mais antigas conhecidas, riscos selados sob lodo de rio em Sion, na Suíça, datam de 5100 a 4700 a.C.; outras mais recentes, no norte de Itália, na Dinamarca e em Praga-Bubeneč, datam de cerca de 4300 a 3500 a.C. No Próximo Oriente, onde o arado pode ser ainda mais antigo, não se conservaram marcas. Impressões de selos e textos da Mesopotâmia mostram arados no III milénio a.C., alguns com um funil que deixava cair a semente no rego. Um campo lavrado em Kalibangan, no noroeste da Índia, data de cerca de 2800 a.C.

Por volta de 1000 a.C., os arados do Próximo Oriente ganharam uma relha amovível e substituível, e na China usavam-se relhas de ferro por volta de 500 a.C. Sob a dinastia Han, nos séculos I e II d.C., as oficinas chinesas fundiam aivecas curvas de ferro que reviravam bem a leiva e dispensavam juntas grandes.

Na Europa, achados da Britânia romana tardia sugerem arados capazes de virar a terra, embora a sua forma exata seja discutida. O arado pesado com sega e aiveca espalhou-se pelas planícies argilosas do norte a partir do século VII, muitas vezes sobre rodas e puxado por grandes juntas de bois. Com ele cultivou-se mais terra e nasceram os campos em faixas compridas da aldeia medieval.

No século XVIII, os fabricantes ingleses construíram arados mais leves. O arado de Rotherham, patenteado em Inglaterra em 1730 por Joseph Foljambe, tinha armação triangular e ferro na aiveca, e dois cavalos bastavam para o puxar. No Meio-Oeste americano, a terra pegajosa da pradaria agarrava-se ao ferro fundido. John Lane em 1833 e John Deere em 1837 fizeram arados com lâminas lisas de aço que se limpavam sozinhas ao cortar.

Arado de aço autolimpante: a terra pegajosa da pradaria escorrega pelo metal polido.

Desde a década de 1850, máquinas a vapor puxavam arados por cabos, e no século XX os tratores substituíram-nas. O solo nu e revirado é levado pelo vento na seca e arrastado pela chuva, como mostrou o Dust Bowl americano nos anos 1930. Muitos agricultores lavram hoje menos, ou nada, e semeiam diretamente sobre o restolho.

Números-chave

Marcas de arado mais antigas encontradas
Sion, Suíça, 5100–4700 a.C.

Arado pesado de aiveca de ferro
China dos Han, séculos I–II d.C.

Profundidade de trabalho de um arado de aiveca moderno
20–30 cm

Arado de aço autolimpante
Illinois, 1833–1837

Fontes

1. Plough · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Plough
2. Ard (plough) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ard_(plough)
3. Europe's oldest plow marks discovered at Anciens Arsenaux site · Archaeology Magazine (archaeologymag.com) https://archaeologymag.com/2024/03/europes-oldest-plow-marks-discovered-at-anciens-arsenaux-site/
4. When was the plough invented? · Joe Roe (archaeologist) https://joeroe.io/2025/08/24/ploughing.html
5. Tillage (chapter 10), D. Franzen · North Dakota State University Extension https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/ebook/Franzen/PDFs/Franzen_Ch10.pdf
6. Development of the Plough: the Rotherham Plough to Now · Farmland Museum and Denny Abbey https://dennyfarmlandmuseum.org.uk/?p=1138
7. Oldest evidence of ploughing in the Czech lands (Bubeneč) · Stone Pages Archaeo News https://www.stonepages.com/news/archives/004695.html
8. Estimating Tillage Draft (TechGuide 2G-210) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingTillageDraftTechGuide.pdf
9. Matching tillage implements to draught animal potential (F. Inns) · FAO https://www.fao.org/4/w0613t/w0613T0g.htm

Factos verificados em 2026-10-11

Carvão vegetal

Lenha cozida devagar sob a terra

c. 4.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9), Ferramentas de pedra (p. 5)

Conduz a: Bronze (p. 123), Pólvora (p. 181), Metalurgia do ferro (p. 136), Aço (p. 140)

1 Chaminé central entre estacas 2 Lenha já transformada em carvão 3 Camada de folhas, palha e torrões
4 Cobertura de terra e pó de carvão 5 Respiradouro na base 6 Lenha ainda por carbonizar

O carvão vegetal é madeira aquecida com tão pouco ar que carboniza em vez de arder, deixando um combustível negro e leve, feito sobretudo de carbono. Usado pelos metalurgistas desde pelo menos o V milénio a.C., e mais tarde produzido em medas cobertas de terra e em covas, deu aos metalurgistas o calor e o gás redutor de que precisavam para extrair o cobre e depois o ferro dos seus minérios.

O que é

O carvão vegetal é o que resta da madeira aquecida com ar a menos para arder. A água e a maior parte das matérias voláteis vão-se no fumo, e fica um sólido negro, quebradiço e leve, composto em grande parte por carbono.

Peso por peso, dá cerca do dobro do calor da lenha seca ao ar. Arde quase sem chama nem fumo e, com um fole, atinge temperaturas que uma fogueira de lenha dificilmente mantém. Num forno forma também monóxido de

carbono, o gás que retira o oxigénio aos minérios. Durante uns seis mil anos foi o combustível do cobre, do bronze e do ferro.

A estampa mostra a meda coberta de terra que os carvoeiros erguiam nas florestas da Europa até ao século XX: uma cúpula de lenha empilhada em redor de uma chaminé central, envolta em folhas e terra, deixada a arder lentamente durante dias.

A mesma madeira antes e depois: o carvão encolhe e racha, mas guarda o veio da árvore.

Como funciona

Aquecida, a madeira começa por secar a 100 °C ou um pouco menos e depois sobe até cerca de 280 °C. As duas fases gastam energia, fornecida pela combustão de uma pequena parte da carga. Acima de uns 280 °C, a madeira decompõe-se por si e liberta calor. Saem água, ácidos, alcatrões e gases combustíveis, e fica o carvão.

A cova funciona da mesma maneira: a lenha carboniza num buraco no chão, sob folhas e terra.

Sem calor de fora, a reação não passa de uns 400 °C e o carvão retém cerca de 30 % de matérias alcatroadas. Levado a 500 °C, chega a cerca de 86 % de carbono fixo, mas o calor paga-se em rendimento: em relação à madeira anidra, obtém-se cerca de 42 % de carvão a 300 °C e 33 % a 500 °C, sem contar a lenha queimada para aquecer.

A cobertura de terra faz de parede de forno. Só deixa entrar o ar que o carvoeiro admite pelos respiradouros da base. Um pouco de lenha arde, gasta esse oxigénio, e o seu calor coze o resto. O fogo acende-se na chaminé central e avança devagar pela pilha para fora, até à base. O fumo mostra o progresso: espesso e branco enquanto a lenha seca, azulado depois, quase transparente quando uma zona fica pronta. Ao carbonizar, a lenha encolhe, a meda abate e a cobertura racha. Cada fenda tem de ser tapada de imediato, senão o carvão arde até virar cinza.

Como se constrói

Eis o esquema de uma meda pequena. São precisos alguns metros cúbicos de lenha de folhosas bem seca, como carvalho, faia ou aveleira, rachada de modo que nenhuma peça passe de uns 20 cm de espessura, e ainda palha ou folhas, terra arenosa ou franca, uma pá, um ancinho e uns 100 litros de água.

Preparar a eira. Limpe até à terra nua um círculo plano e bem drenado com cerca de 6 m de diâmetro, longe de ramos baixos e de edifícios.

Erguer a lenha em volta da chaminé. Crave três ou quatro estacas no centro para formar uma conduta. Estenda no chão uma grelha de toros finos para que os gases circulem por baixo da pilha. Coloque as achas de pé contra a conduta, ligeiramente inclinadas para ela e bem apertadas, e encha os vazios com lenha miúda. Uma meda de aldeia mede geralmente cerca de 4 m de diâmetro e 1 a 1,5 m de altura.

Cobrir. Espalhe folhas, palha ou torrões de relva sobre a lenha e depois 10 a 20 cm de terra, misturada com pó de carvão se o tiver. Evite o barro pegajoso, que racha ao secar. Deixe seis a dez respiradouros à volta da base.

Acender e vigiar. Lance pela chaminé uma pazada de brasas e alimente-as com gravetos secos até o centro da pilha pegar. Quando subir com regularidade um fumo branco e espesso, feche em parte a abertura de cima. A partir daí, alguém vigia a meda dia e noite: tapa as fendas com terra húmida, fecha qualquer respiradouro que fique em brasa e abre novos do lado que se atrasa. Uma meda pequena pode ficar pronta em um ou dois dias; as tradicionais de tamanho médio levavam doze a catorze.

Abafar, arrefecer e tirar. Quando o fumo ficar fino e azul, feche todos os buracos e junte terra. Espere que a meda esteja fria por completo, o que numa pequena leva dois ou três dias; depois abra-a por setores, puxe o carvão com o ancinho e apague qualquer pedaço ainda em brasa ou a fumegar com areia ou um pouco de água. O carvão quente pode reacender-se ao ar livre, por isso continue atento.

> **Segurança.** Uma meda pode provocar um incêndio florestal: informe-se sobre as regras locais para fogueiras ao ar livre, mantenha a eira limpa de vegetação e tenha à mão água, areia e uma pá. O fumo é rico em monóxido de carbono, que não tem cheiro e mata. Fique a barlavento, nunca se debruce sobre um respiradouro ou sobre a chaminé, e nunca carbonize, arrefeça nem guarde carvão quente num espaço fechado. Nunca suba para a meda: ao encolher a lenha, a cobertura pode ceder sobre uma cavidade incandescente e causar queimaduras graves. Use luvas e botas de couro e mantenha as crianças afastadas.

História e evolução

O carvão vegetal é tão antigo como o uso do fogo: cada lareira pré-histórica deixa algum, e os arqueólogos usam-no para a datar. Na gruta Chauvet, em França, desenharam-se animais com carvão de pinheiro há cerca de 37 000 a 34 000 anos.

O metal criou a primeira grande procura, embora não se saiba quando se começou a produzi-lo de propósito. No V milénio a.C., no Levante meridional e no planalto iraniano, aquecia-se minério de cobre com carvão em cadinhos e pequenos fornos. Em Horvat Beter, perto de Bersebá, o minério vinha do Wadi Faynan, a mais de 100 km. Uma estimativa publicada em 1982, baseada em registos posteriores e em experiências, aponta 20 a 40 kg de carvão por quilo de cobre. Com 100 kg de carvão para uma fundição de 5 kg, e sete partes de lenha para uma de carvão, são uns 700 kg de lenha. Na China, os fornos de carvão mais antigos encontrados até hoje, em Xiwubi, no Shanxi, ficavam junto a vestígios de fundição de cobre do período de Erlitou, por volta de 1900 a 1600 a.C.

Segundo a mesma estimativa, o ferro não pedia mais de 10 kg de carvão por quilo, forja incluída, mas produzia-se em quantidades muito maiores, e a carvoaria tornou-se um ofício da floresta. No Weald inglês e no vale de Carranza, no País Basco, os carvoeiros abasteceram ferrarias e forjas durante séculos; trabalhavam da primavera ao outono e viviam com as famílias em cabanas junto às medas.

Os carvoeiros viviam junto às medas em cabanas de varas e torrões, para as vigiarem dia e noite.

No século XVIII, um alto-forno inglês consumia cerca de oito toneladas de lenha, convertidas em duas de carvão, por cada tonelada de ferro-gusa. Em 1709 Abraham Darby fundiu ferro com coque de hulha em Coalbrookdale, e o coque foi-se impondo. O carvão vegetal sobreviveu noutros lugares: em 2011 ainda produzia cerca de 30 % do ferro-gusa do Brasil, contra menos de 1 % no mundo, com lenha de plantações de

eucalipto mas também de mata nativa. Continua também a ser o combustível do churrasco, o carvão de salgueiro do desenhador e, depois de ativado, o carbono dos filtros.

Números-chave

Carbonização espontânea
A partir de cerca de 280 °C; o bom carvão fica pronto perto dos 500 °C

Teor de carbono
Cerca de 68 % de carbono fixo a 300 °C, cerca de 86 % a 500 °C

Fornos de carvão mais antigos da China
Xiwubi (Shanxi), c. 1900–1600 a.C., junto a vestígios de fundição de cobre

Rendimento de uma meda
1 t de carvão a partir de 4 t de lenha seca ao ar com boa prática; mais vezes, 1 a partir de 6

Combustível do cobre (estimativa)
Cerca de 20–40 kg de carvão por quilo de cobre, segundo registos posteriores e experiências

Fontes

1. Simple technologies for charcoal making, chapter 4: Carbonisation processes (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e05.htm
2. Simple technologies for charcoal making, chapter 6: Making charcoal in earth mounds (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/X5328E/x5328e07.htm
3. Simple technologies for charcoal making, chapter 5: Earth pits for charcoal making (FAO Forestry Paper 41) · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/x5328e/x5328e06.htm
4. Fuel for the Metal Worker (Lee Horne, Expedition 25.1, 1982) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition/fuel-for-the-metal-worker/
5. Charcoal Burning: Keeping an Ancient Craft Alive · Weald & Downland Living Museum https://www.wealddown.co.uk/museum-news/charcoal-burning/
6. Charcoal burning in the valley of Carranza (Bizkaia) · Labayru Fundazioa https://labayru.eus/en/basque-ethnography-at-a-glance/charcoal-burning-in-the-valley-of-carranza-bizkaia
7. Charcoal Burning (Wyre Forest) · Revolutionary Players, History West Midlands https://revolutionaryplayers.org.uk/?p=2368
8. The Chauvet cave: 30 years since its discovery. Contribution from radiocarbon dating · Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) https://www.lsce.ipsl.fr/en/the-chauvet-cave-30-years-since-its-discovery-contribution-from-radiocarbon-dating/
9. Archaeologists Unearth 6,500-Year-Old Copper-Smelting Workshop in Israel · Sci.News https://www.sci.news/archaeology/copper-smelting-workshop-horvat-beter-israel-08923.html
10. Shanxi discovers earliest charcoal kiln relics in China · China Daily https://regional.chinadaily.com.cn/shanxi/2021-08/23/c_654303.htm
11. Invention of Coke Smelting · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/invention-coke-smelting
12. Sustainable charcoal (Pesquisa FAPESP 189, 2011) · Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/carvao-vegetal-sustentavel/

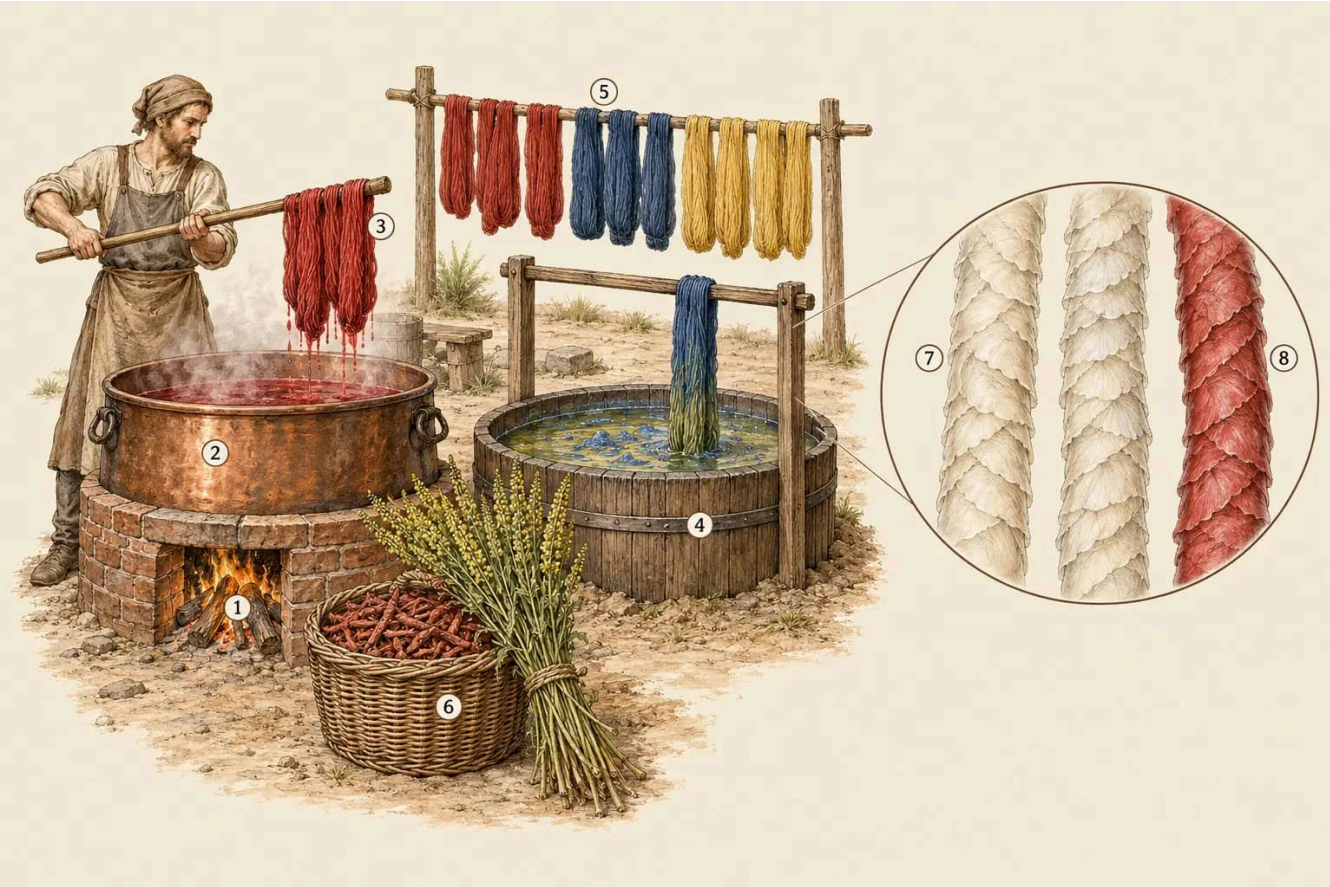
Factos verificados em 2026-10-13

Tingimento

A cor fixada na fibra

c. 4.200 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Corda e cordame (p. 13), Cerâmica (p. 23), Domínio do fogo (p. 9)



1 Lume sob a caldeira 2 Caldeira de cobre com o banho de garança 3 Meadas levantadas num pau 4 Cuba de índigo 5 Vara de secagem com meadas vermelhas, azuis e amarelas 6 Raízes de garança e gualda 7 Fibra de lã crua 8 Fibra mordentada e tingida de vermelho

O tingimento põe a cor dentro da fibra: o corante penetra no fio ou no tecido e resiste à lavagem. A maioria dos corantes vegetais, como a garança e a gualda, dá cores mais fortes e firmes com um mordente, quase sempre o alúmen, enquanto o índigo se torna solúvel numa cuba e volta a ficar azul ao ar.

O que é

A tinta de pintar fica à superfície do pano e pode gastar-se; um corante entra na fibra dissolvido em água e lá fica com as lavagens. A maior parte dos corantes vinha das plantas, alguns de insetos e de búzios.

Na lã sem mordente, a raiz de garança, o vermelho clássico, e a gualda, o amarelo clássico, dão cores mais fracas, que desbotam e saem na lavagem com mais facilidade. Os tintureiros fixavam-nas com um mordente, um sal metálico posto primeiro na fibra e ao qual o corante se liga; durante quase toda a história foi o alúmen. O índigo, o azul, não se dissolve de todo em água e tem de ser transformado quimicamente numa cuba antes de poder entrar no fio.

A estampa mostra o pátio de um tintureiro do fim da Idade Média: um banho de garança numa caldeira de cobre (2) sobre o lume (1), meadas levantadas num pau (3), a cuba de índigo (4), fio a secar numa vara (5) e as matérias tintórias (6). O círculo mostra ampliadas uma fibra de lã crua (7), outra tratada com alúmen, ainda pálida, e uma mordentada e tingida (8).

Como funciona

O vermelho da garança vem de compostos das raízes, sobretudo alizarina e purpurina. Sozinhos dão à lã um laranja mais fraco e baço, que desbota mais depressa. Se a lã ferveu antes em lume brando com alúmen, um sulfato duplo de alumínio e potássio, retém alumínio; no banho de tinta, as moléculas da garança ligam-se a ele e formam um composto colorido que já não se dissolve e fica dentro da fibra. O mordente decide também o tom: a garança dá vermelho com alúmen e castanhos arroxeados com ferro, a gualda amarelo vivo com alúmen e verde-azeitona com ferro.

Garança, pastel e gualda: o vermelho, o azul e o amarelo dos tintureiros da Europa.

À saída da cuba o fio é amarelo-esverdeado; o ar torna-o azul.

O índigo forma-se a partir de compostos das folhas das anileiras tropicais e, na Europa, do pastel-dos-tintureiros. Numa cuba alcalina sem oxigénio, a molécula azul, insolúvel, é reduzida: ganha hidrogénio e torna-se leucoíndigo, uma forma amarelo-esverdeada e solúvel que embebe a fibra. Fora da cuba, o oxigénio do ar devolve-a a índigo azul, agora preso na fibra. Cada mergulho junta uma camada, e os azuis escuros pedem muitos.

Antes da química industrial, eram bactérias que reduziam o índigo. O pastel ou o índigo ficava ao quente em água com um álcali, barrela de cinza ou cal apagada, e farelo para as alimentar; ao fermentar, consumiam o oxigénio e transformavam o índigo em leucoíndigo. Os verdes obtinham-se tingindo de amarelo por cima de um azul.

Como fazer

Eis as linhas gerais do método tradicional para a lã, não uma receita testada. É preciso fio de lã, alúmen, garança e gualda secas, e panelas de inox ou de esmalte intacto, paus e um termómetro reservados ao tingimento.

Preparar a fibra. Enrolar o fio em meadas soltas, atadas em vários pontos para que o corante chegue a cada fio. Desengordurá-lo em água morna com sabão suave. Meter sempre a fibra molhada e mudar a temperatura devagar: os choques de calor e a fricção feltram a lã.

Mordentar. A Maiwa, fornecedora canadiana de corantes naturais, indica alúmen a 15 % do peso da lã seca. Dissolvê-lo em água quente, juntar a lã, subir devagar até cerca de 90 °C, pouco abaixo da fervura branda, e manter cerca de uma hora. Deixar arrefecer e enxaguar.

Tingir de vermelho ou de amarelo. Pôr de molho a garança picada durante uma noite e aquecê-la depois com cuidado com a lã mordentada durante uma hora ou mais, movendo suavemente as meadas. Para a garança europeia, a Maiwa aconselha ficar abaixo de cerca de 72 °C: mais quente, o vermelho puxa para o castanho. A

gualda fica de molho uma noite, aquece-se e coa-se; a lã mordentada passa depois cerca de uma hora nesse banho, também abaixo de cerca de 71 °C, porque o calor a mais apaga o amarelo. Deixar arrefecer no banho escurece o tom.

Tingir de azul. Uma cuba tradicional de pastel ou de índigo, montada com álcali e farelo, era mantida ao quente durante dias, até o líquido amarelo-esverdeado mostrar uma película acobreada e espuma azul. O fio entra molhado e devagar, sem salpicar, porque o ar estraga a cuba; ao fim do tempo que o método indicar, muitas vezes de 20 minutos a uma hora para a lã, tira-se, espreme-se, deixa-se azular e volta a mergulhar-se. As cubas de hoje usam outros redutores, e a lã pede um banho menos alcalino do que o algodão (a Maiwa indica pH 9 a 10 contra 11 a 12): seguir um método testado escrito para lã e verificar o pH.

Enxaguar e lavar. Depois da garança ou da gualda, deixar arrefecer o fio no banho, enxaguá-lo com cuidado até a água sair limpa e secá-lo à sombra; só mais tarde lavá-lo com sabão suave. Depois do índigo, deixar o azul desenvolver-se por completo ao ar, enxaguar em água limpa e pôr depois o fio de molho em vinagre diluído para neutralizar o álcali que fica na lã. Lavá-lo no fim e verificar que não larga azul num pano branco.

> **Segurança.** Os banhos quentes escaldam: pôr a panela num lume ou fogareiro estável, longe de crianças e animais. O alúmen é irritante e não deve ser engolido; os sais de ferro são nocivos em solução concentrada. A cal apagada e a barrela queimam a pele e os olhos, a barrela ataca também as panelas de alumínio, e os redutores podem libertar vapores tóxicos, sobretudo com ácidos: usar óculos e luvas e guardá-los secos e rotulados. As cubas em fermentação libertam gases malcheirosos: trabalhar ao ar livre ou com boa ventilação. Nunca usar panelas nem utensílios de cozinha, nem devolver à cozinha o material de tingir. Os mordentes de crómio e de estanho, correntes no passado, são tóxicos: não os usar. Os banhos gastos não são inofensivos: os de mordente ou de ferro e as lamas da cuba contêm sais metálicos ou álcali. Nunca os despejar em ribeiras, poços ou sarjetas; perguntar ao serviço local de resíduos como os eliminar.

História e evolução

Na gruta de Dzudzuana, na Geórgia, camadas com mais de 30 000 anos continham fibras coloridas que os escavadores interpretam como linho tingido com plantas locais; o tingimento é uma interpretação, e a identificação como linho foi contestada.

O índigo mais antigo conhecido, identificado por análise química, tinge um algodão de Huaca Prieta, no Peru, com cerca de 6200 a 6000 anos. A garança mais antiga confirmada colore uma aljava egípcia de couro de cerca de 2124–1981 a.C.

Os búzios davam a púrpura associada a Tiro: montes de conchas esmagadas atestam a sua produção em Creta no início do II milénio a.C. e em Ugarit, na Síria, nos séculos XV e XIV a.C. O quermes, uma cochonilha do carrasco, dava um carmesim; a cochonilha americana, chegada à Europa no século XVI, foi-o substituindo.

Cada búzio dava apenas umas gotas de corante; tingir para o comércio exigia muitos milhares.

Na Idade Média, os tintureiros juntaram-se em corporações que guardavam as receitas e vigiavam a qualidade; a de Londres, registada em 1188, recebeu em 1471 uma carta que lhe permitia inspecionar oficinas e multar o mau tingimento.

Em 1856, William Henry Perkin, estudante londrino de 18 anos que tentava fabricar quinino, obteve a partir de derivados do alcatrão de hulha a mauveína, o primeiro corante sintético com êxito comercial. Em

1868, Carl Graebe e Carl Liebermann sintetizaram a alizarina, e o cultivo da garança declinou depressa; Adolf von Baeyer publicou uma síntese do índigo em 1880, e a BASF lançou-o no mercado em 1897.

Números-chave

Índigo mais antigo conhecido
Em algodão de Huaca Prieta (Peru), com cerca de 6200 a 6000 anos

Garança no Egito
Identificada numa aljava de couro de cerca de 2124–1981 a.C.

Primeiro corante sintético comercial
A mauveína, obtida em 1856 por William Henry Perkin, aos 18 anos

Fibras coloridas anteriores
Fibras da gruta de Dzudzuana (Geórgia), com mais de 30 000 anos; linho contestado, tingimento deduzido

Corporação dos tintureiros de Londres
Registada em 1188; carta régia em 1471

Fontes

1. 30,000-year-old wild flax fibers: testimony for fabricating prehistoric linen (Science, 2009) · Kvavadze, Bar-Yosef et al., Harvard DASH https://dash.harvard.edu/handle/1/4270521
2. Early pre-Hispanic use of indigo blue in Peru (Science Advances, 2016) · Splitstoser, Dillehay, Wouters and Claro https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5023320/
3. The matter of madder in the ancient world · J. Paul Getty Museum https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/3/
4. The Minoan origin of Tyrian purple (Biblical Archaeologist, 1994) · Robert R. Stieglitz, republished by Keftiu https://www.keftiu.com/magazine/the-minoan-origin-of-tyrian-purple/
5. The Dyers' Company and dyeing · The Worshipful Company of Dyers, London https://www.dyerscompany.co.uk/?p=4304
6. Graebe, Carl · Neue Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/118877364.html
7. William Henry Perkin · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/historical-profile/william-henry-perkin
8. História da BASF, 1865–1901 · BASF https://www.basf.com/br/pt/who-we-are/organization/history/1865-1901
9. Response to comment on "30,000-year-old wild flax fibers" (Science, 2010) · Kvavadze et al., Hebrew University of Jerusalem https://cris.huji.ac.il/en/publications/response-to-comment-on-30000-year-old-wild-flax-fibers/
10. Natural dye instructions: scouring, mordanting and dyeing · Maiwa https://naturaldyes.ca/instructions
11. Madder: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/madder
12. Weld: dyeing instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/weld
13. Indigo: vat instructions · Maiwa https://naturaldyes.ca/indigo

Factos verificados em 2026-10-13

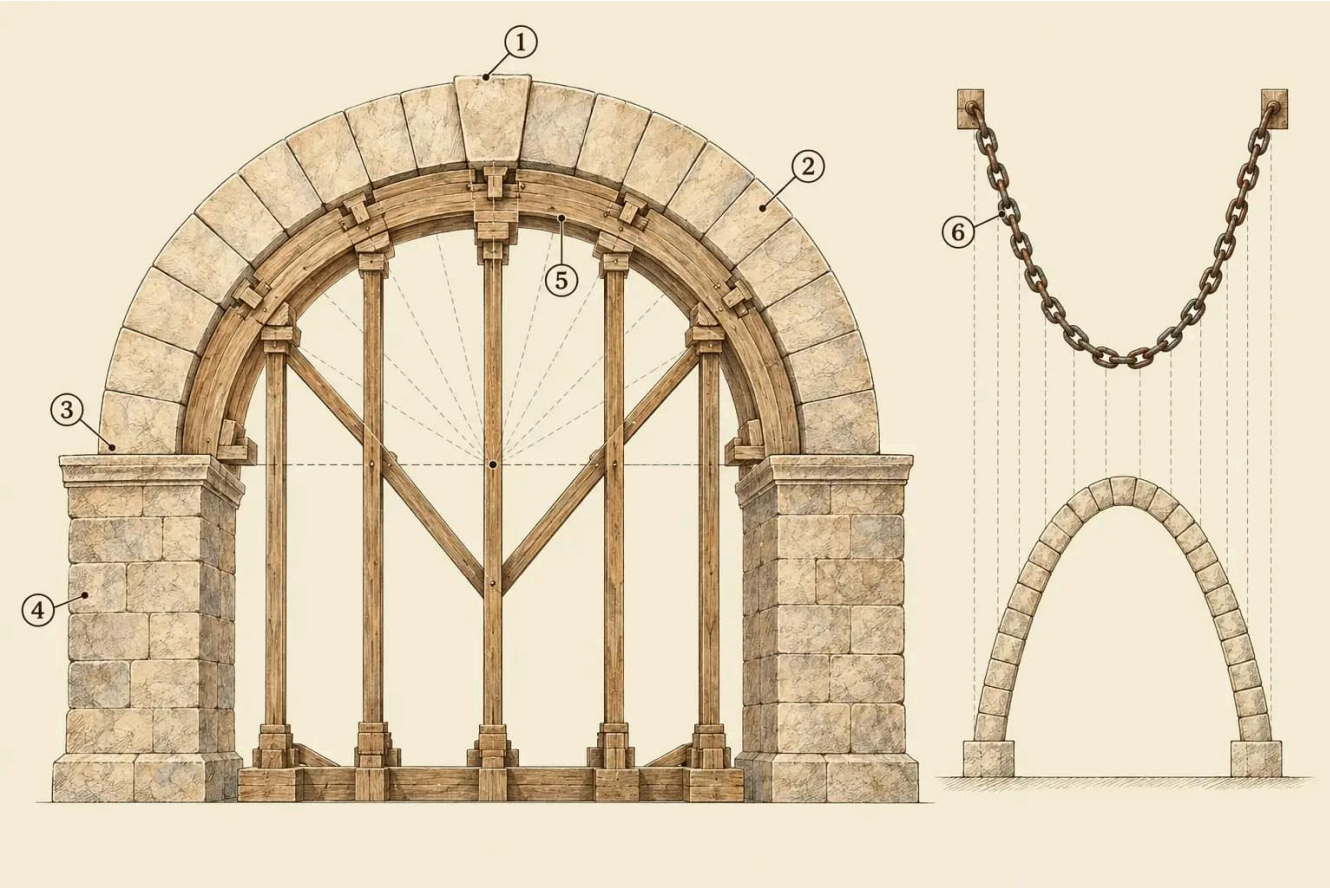
Arco e abóbada

Pedras que se sustentam umas às outras

c. 3.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Tijolos (p. 40), Ferramentas de pedra (p. 5)

Conduz a: Aqueduto (p. 145)



1 Fecho 2 Aduela 3 Aduela de arranque 4 Encontro (pilar) 5 Cimbre de madeira 6 Corrente suspensa (modelo de Hooke)

Um arco vence um vão com blocos em forma de cunha que se apoiam uns nos outros, de modo que toda a curva trabalha à compressão e empurra os apoios para fora. Prolongado em profundidade torna-se abóbada e, rodado em torno do eixo, cúpula: as formas que cobrem túmulos, pontes, aquedutos e catedrais há mais de cinco mil anos.

O que é

Um arco suporta a carga que está sobre um vão com uma curva de blocos talhados em cunha, as aduelas. Cada bloco pressiona os vizinhos, pelo que todo o anel trabalha à compressão e nenhuma junta tem de resistir à tração. A pedra e o tijolo resistem muito bem ao esmagamento, mas partem quando dobrados: um lintel de pedra racha num vão que um arco da mesma pedra vence sem esforço.

Num falso arco, feito por avanço de fiadas, cada fiada é assente na horizontal e sai um pouco para lá da de baixo, até os dois lados se encontrarem; cada pedra mantém-se porque a alvenaria atrás dela carrega a sua ponta traseira. Assim pode cobrir-se um corredor e até uma câmara redonda, contida pela terra ou pela alvenaria que a

rodeia. Num arco verdadeiro, as juntas são perpendiculares à curva, e num arco de volta perfeita apontam todas para o seu centro; os blocos encostam-se uns aos outros e o anel empurra os apoios para fora.

O bloco do topo é o fecho. Os mais baixos, de cada lado, são as aduelas de arranque, assentes nos pilares ou paredes que sustentam o arco, os encontros.

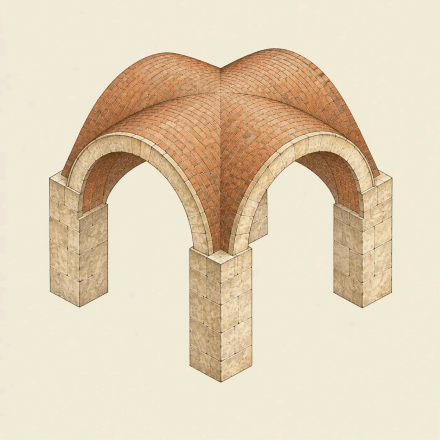
Um vão por avanço de fiadas: todas as juntas são horizontais, e cada pedra é segura pela parede que pesa sobre a sua cauda.

Como funciona

O peso que vem de cima empurra cada aduela para baixo. As faces são oblíquas: ela não pode descer sem afastar as vizinhas, e a carga passa de bloco em bloco até ao arranque. Aí a força empurra para baixo e também para fora. Essa componente horizontal é o impulso. Se um encontro inclinar ou deslizar, o vão alarga, o fecho desce e o arco pode cair. Quanto mais abatido o arco, maior o impulso.

O percurso dessa força através das pedras é a linha de pressões. Desde os anos 1960, na senda de Jacques Heyman, os engenheiros calculam a alvenaria como se não resistisse à tração, não deslizasse e não esmagasse. As tensões na maioria dos arcos são baixas, e a rotura por esmagamento raramente é determinante. Um arco aguenta-se se pelo menos uma linha de pressões couber dentro da sua espessura. Onde a linha chega à borda de uma junta, esta pode abrir-se como uma dobradiça; quando se formam rótulas suficientes, em regra quatro, o anel desaba.

Em 1675, Robert Hooke publicou num anagrama latino a regra da forma ideal: pendurar uma corrente e virar a sua curva ao contrário. Uma corrente só pode puxar, por isso toma a forma que as cargas exigem; invertida, a mesma curva suporta-as em compressão pura.



Uma abóbada de arestas: onde dois berços se cruzam, o impulso junta-se nos quatro cantos.

Uma abóbada de berço é um arco prolongado em profundidade. Empurra para fora ao longo de todo o comprimento, e por isso as paredes laterais têm de ser grossas. Dois berços que se cruzam em ângulo reto formam uma abóbada de arestas: o impulso concentra-se nos cantos, e as paredes entre eles podem abrir-se em janelas. Uma cúpula é um arco rodado em torno do seu eixo vertical. Os anéis horizontais seguram-se uns aos outros, de modo que pode ficar aberta no topo. A maioria das abóbadas e cúpulas só se aguenta depois de fechada, por isso constroem-se sobre um cimbre, uma cofragem provisória de madeira cortada pela curva do intradorso.

Como construir

Um arco de tijolo com cerca de 60 cm de vão, erguido no chão como peça de treino, serve para uma primeira tentativa a dois. São precisos tijolos, argamassa de cal hidráulica, tábuas, ripas, pregos, dois pares de cunhas de

madeira dura, um nível e um fio.

Assentar os encontros. Sobre uma base firme e nivelada, levantar dois maciços de tijolo com pelo menos 30 cm de comprimento, a largura de um tijolo ao comprido e no máximo quatro fiadas de altura. Calçar a face exterior com pedras pesadas ou terra batida, para que o pé não possa deslizar nem tombar para fora.

Fazer o cimbre. Traçar o semicírculo em tamanho real com o fio preso no centro. Cortar em tábuas duas cambotas com essa curva, descontando a espessura das ripas, e pregar as ripas de través. Pousar o cimbre sobre escoras com um par de cunhas debaixo de cada uma, à altura do topo dos encontros.

Assentar o anel. Pôr cada tijolo ao alto, de cutelo, com o comprimento a atravessar o arco: o anel fica com cerca de 10 cm de altura e a espessura de um tijolo. Começar pelos dois arranques e subir alternando os lados, para carregar o cimbre por igual. Verificar com o fio que cada junta aponta para o centro e deixar que as juntas de argamassa façam a cunha, mais grossas por fora. Colocar o fecho no fim, com um empurrão firme e sem pancadas fortes.

Esperar e descimbrar. Proteger a obra fresca do sol, da chuva e da geada, e mantê-la húmida como indica o fabricante da argamassa. Deixar o cimbre pelo menos uma semana, mais com frio ou humidade: tirar o apoio cedo demais é uma causa frequente de colapso. Depois, aliviar as cunhas alguns milímetros de cada vez, alternando os lados. Se o fecho descer ou uma junta abrir, parar, voltar a encunhar o cimbre debaixo do anel e descobrir a causa antes de tentar outra vez.

Testar primeiro numa maqueta. Pendurar uma corrente fina diante de uma tábua vertical e decalcar a curva. Serrar de uma ripa pequenos blocos ligeiramente em cunha, com as juntas perpendiculares à linha, e montá-los sobre um cartão recortado com a mesma curva, com um batente em cada pé. Retirar o cartão: se os blocos estiverem bem cortados, o arco aguenta-se sem cola.

> **Segurança.** Levantar tijolos e pedras junto ao corpo, com os joelhos fletidos, e carregar a dois as peças pesadas. Usar luvas e óculos. Evitar cortar tijolo ou pedra, cujo pó contém sílica; se for preciso, cortar ao ar livre com serra a água ou com escopro e usar uma máscara FFP3 bem ajustada. A argamassa de cal é cáustica: proteger pele e olhos e lavar logo os salpicos. Nunca ficar debaixo do arco nem meter o braço durante o descimbramento; trabalhar de lado com um pau comprido e manter toda a gente afastada. Qualquer arco maior ou mais alto, ou destinado a suportar uma parede, uma passagem ou pessoas, exige um projeto verificado por um pedreiro ou um engenheiro.

História e evolução

Os arcos verdadeiros surgem na Mesopotâmia e no Egito no IV milénio a.C., em adobe, sobretudo em esgotos e túmulos. A partir da I dinastia, por volta de 3000 a.C., os egípcios construíam abóbadas sem cimbre, assentando os tijolos em anéis inclinados contra uma parede de topo, um método ainda usado na Núbia. Em Tel Dan, no norte de Israel, uma das mais antigas portas em arco conhecidas, em adobe e anterior a cerca de 1700 a.C., continua de pé com o arco conservado.

O avanço de fiadas continuou em uso: o chamado Tesouro de Atreu, em Micenas, um túmulo da Idade do Bronze final, tem uma cúpula de fiadas salientes com 14,5 m de diâmetro. Os romanos foram os primeiros a erguer arcos isolados, em pontes, em arcadas de aquedutos como a Ponte do Gard e em abóbadas e cúpulas de betão como a do Panteão, com 43,3 m de vão.

O arco quebrado, já comum na arquitetura islâmica, chegou à Europa ocidental na segunda metade do século XI; com o mesmo vão, empurra menos para fora do que um arco de volta perfeita. O coro de Saint-Denis, perto de Paris (1140-1144), reuniu arcos quebrados, abóbadas de nervuras e contrafortes exteriores. Por volta de 1160, os

construtores da Île-de-France acrescentaram arcobotantes, meios arcos que levam o impulso da abóbada alta por cima das naves laterais até contrafortes exteriores. Levado o impulso para fora, as paredes entre os pilares puderam afinar e encher-se de vitrais. Em Beauvais, a abóbada do coro subiu a cerca de 48 m; parte dela ruiu em 1284.

Um arcobotante: meio arco leva o impulso da abóbada por cima da nave lateral até um pilar erguido do lado de fora.

Números-chave

Primeiros arcos verdadeiros
Mesopotâmia e Egito, IV milénio a.C., em adobe

Uma das primeiras portas em arco ainda de pé
Tel Dan, adobe, construída antes de cerca de 1700 a.C.

Arco de volta perfeita mais delgado, em teoria
Cerca de 0,107 vezes o raio, com juntas radiais e só com o próprio peso

Abóbada do coro de Beauvais
Cerca de 48 m de altura; parte dela ruiu em 1284

Fontes

1. The Origins of the Voussoir Arch (A. Hrychuk Kontokosta, in The Roman Arch, 2025) · Oxford University Press https://academic.oup.com/book/61689/chapter/540990895
2. Mud-Brick (V. L. Emery, UCLA Encyclopedia of Egyptology, 2011) · University of California, Los Angeles https://journalpub.escholarship.org/nelc_uee/article/4007/galley/2583/download
3. The Remarkable Discoveries at Tel Dan (J. C. H. Laughlin, Biblical Archaeology Review 7:5, 1981) · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/the-remarkable-discoveries-at-tel-dan/
4. Brick Brief: Arches · Brick Industry Association https://www.gobrick.com/media/file/brick-brief-arches-may-2012.pdf
5. The effect of stereotomy on the shape of the thrust-line and the minimum thickness of masonry arches (N. Makris and H. Alexakis, 2013) · Archive of Applied Mechanics, Aston University https://research.aston.ac.uk/en/publications/the-effect-of-stereotomy-on-the-shape-of-the-thrust-line-and-the-
6. Arches, vaults and buttresses (S. Huerta, seminar, 2015) · University of Pisa, School of Engineering https://docenti.ing.unipi.it/scuola_dottorato_ingegneria/Seminari2015/2015-Huerta-Seminario1.pdf
7. The stone skeleton (J. Heyman, International Journal of Solids and Structures 2, 1966, pp. 249-279) · Elsevier https://doi.org/10.1016/0020-7683(66)90018-7
8. As hangs the flexible line: equilibrium of masonry arches (P. Block, M. DeJong and J. Ochsendorf, Nexus Network Journal 8:2, 2006) · Springer https://doi.org/10.1007/s00004-006-0015-9
9. Maths in a minute: St Paul's dome · Plus Magazine, University of Cambridge https://plus.maths.org/content/maths-minute-st-pauls-dome
10. Hanging models · Stereotomy Semantic Classification, University of Porto https://ssc.arq.up.pt/semantic-classification/hanging-models/
11. Compound brick vaults by slices in written sources (R. Marín-Sánchez et al., 2021) · Universitat Politècnica de València https://riunet.upv.es/bitstreams/f756ca9a-0877-4029-9a69-dd09bc7f3735/download
12. Treasury of Atreus · J. Siegel, Hampden-Sydney College https://blogs.hsc.edu/drjclassics/?p=379
13. Arch · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Arch
14. Centering (masonry) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Centering_(masonry)
15. Flying buttress · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_buttress
16. Beauvais Cathedral · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Beauvais_Cathedral

Factos verificados em 2026-10-14

Cerveja

O açúcar do grão feito álcool

c. 3.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Cerâmica (p. 23), Pão (p. 27)

1 Cevada maltada 2 Cuba de brassagem 3 Caldeira de fervura 4 Tina de arrefecimento 5 Cuba de fermentação 6 Barris

A cerveja obtém-se transformando em açúcar o amido de um cereal germinado e deixando que a levedura fermente esse açúcar em álcool. Os vestígios químicos de cerveja de cevada remontam ao IV milénio a.C. no oeste do Irão, e a produção de cerveja acompanhou a agricultura quase em todo o lado onde se cultivavam cereais.

O que é

A cerveja é uma bebida fermentada feita com cereal, quase sempre cevada, água, levedura e geralmente lúpulo. A levedura não consegue alimentar-se de amido, por isso o grão é primeiro maltado e brassado para transformar o seu amido em açúcares que a levedura fermenta em álcool e dióxido de carbono.

A prancha mostra uma pequena fábrica de cerveja como as da Europa antes da máquina a vapor, com os recipientes pela ordem do trabalho: malte, cuba de brassagem, caldeira, tina de arrefecimento, cuba de fermentação e barris.

Como funciona

Primeiro a cevada é maltada: põe-se de molho e deixa-se germinar durante alguns dias. Ao começar a crescer, a semente produz enzimas que mais tarde vão desdobrar a sua própria reserva de amido. O maltador seca depois o grão num forno para parar a germinação; o calor fixa também a cor e o sabor do malte, do mais claro ao torrado.

Na brassagem, o malte moído fica em água quente. Entre cerca de 62 e 68 °C, as amilases do malte cortam o amido em açúcares, sobretudo maltose, em mais ou menos uma hora. Uma brassagem mais fria deixa mais açúcar fermentável e uma cerveja mais seca; uma mais quente deixa mais açúcar não fermentável e mais corpo. O líquido doce, o mosto, escorre através das cascas, que servem de filtro.

A maltagem: o grão que germina fabrica as enzimas de que a cerveja precisa, e a secagem trava-o antes de gastar o seu amido.

Depois o mosto ferve durante uma hora ou mais. A fervura mata a maioria dos micróbios que vieram com o grão, trava as enzimas e afasta aromas indesejados. O lúpulo junto nesta fase dá compostos amargos que também travam muitas bactérias de deterioração; o que se junta no fim guarda mais aroma.

Por fim, o mosto arrefece e junta-se-lhe a levedura. Em poucos dias, esta transforma o açúcar em etanol e dióxido de carbono, com ésteres e outros compostos que formam o sabor. A levedura de alta fermentação trabalha a quente e sobe à superfície; a de baixa fermentação, a da lager, trabalha a frio e assenta no fundo. Um período de maturação deixa depois a cerveja clarificar e afinar.

Como fazer

Numa cozinha podem fazer-se cerca de 10 litros com o método do saco (brew in a bag). São precisos 2,5 kg de malte claro moído, cerca de 25 g de lúpulo, uma saqueta de levedura de alta fermentação, uma panela de 20 litros, um saco grande de rede, um termómetro, um fermentador com airlock, um densímetro, um desinfetante sem enxaguamento e garrafas com caricas novas.

Brassar. Aqueça 14 litros de água a cerca de 70 °C, ponha o saco na panela e deite o malte a mexer. A mistura deve estabilizar perto dos 66 °C. Desligue o lume, tape a panela e embrulhe-a num cobertor durante uma hora, bem afastado do queimador. Retire o cobertor, tire o saco e deixe-o escorrer.

Ferver. Leve o mosto a ferver com força durante 60 minutos. Junte a maior parte do lúpulo no início para o amargor e o resto nos últimos dez minutos para o aroma. Vigie a panela quando começar a ferver, porque a espuma sobe muito depressa. Entretanto, limpe e desinfete o fermentador e tudo o que vá tocar no mosto frio; uma serpentina de imersão limpa desinfeta-se mergulhando-a no mosto a ferver durante os últimos 15 minutos.

Arrefecer e fermentar. Arrefeça a panela tapada até cerca de 20 °C com a serpentina ou num lava-loiça com água fria. Passe o mosto para o fermentador, junte a levedura, ponha o airlock e mantenha entre 18 e 20 °C.

Engarrafar. A fermentação demora em geral uma a duas semanas. Engarrafe só quando o densímetro der o mesmo valor três dias seguidos e esse valor estiver perto da densidade final esperada, cerca de 1,010 a 1,015 para esta receita: um valor estável mas mais alto indica uma fermentação parada, não acabada. Dissolva 5 a 6 g de açúcar por litro num pouco de água fervida, misture-o suavemente na cerveja, encha e capsule as garrafas e deixe-as duas semanas à temperatura ambiente antes de as refrigerar.

Segurança. Uma panela de mosto a ferver pode causar queimaduras graves: ponha-a num fogão estável, levante-a a dois ou não a levante, e mantenha crianças e animais afastados. Dentro de casa, use só uma placa ou fogão feito para uso interior; os queimadores vendidos para exterior ficam lá fora. Açúcar de priming a mais, ou engarrafar antes de a fermentação acabar, pode fazer rebentar as garrafas: use garrafas próprias para cerveja, pese o açúcar e use óculos de proteção ao manusear um lote que pareça demasiado gaseificado. Nunca tente destilar a cerveja. Respeite a lei local sobre produção caseira e sobre o álcool.

História e evolução

Na Mesopotâmia partilhava-se uma talha e sorvia-se a cerveja por longas palhinhas que chegavam abaixo das cascas a flutuar.

Resíduos em almofarizes de pedra da gruta de Raqefet, em Israel, com cerca de 13 000 anos, foram interpretados como vestígios de uma bebida semelhante a uma papa, preparada por caçadores-recolectores natufianos para banquetes fúnebres; a interpretação é discutida. Um vestígio químico antigo e muito citado vem de Godin Tepe, no oeste do Irão, onde as ranhuras de um jarro do fim do IV milénio a.C. contêm oxalato de cálcio, a «pedra de cerveja» que a cerveja de cevada deixa nos recipientes. O oxalato de cálcio não é exclusivo da cerveja, por isso também esta leitura foi posta em dúvida.

As tabuinhas mesopotâmicas referem a cerveja milhares de vezes, mas não dão nenhuma receita. O texto mais próximo é o Hino a Ninkasi, deusa da cerveja, posto por escrito por volta de 1800 a.C., que fala de pôr o malte de molho, estender a massa em esteiras de cana e encher as cubas. No Egito a cerveja era um alimento básico, e em Abidos foi escavada uma grande fábrica de cerveja de cerca de 3000 a.C.

Na Idade Média, os cervejeiros europeus aromatizavam a cerveja com gruit, uma mistura de ervas. O abade Adalardo de Corbie referiu o lúpulo para a cerveja em 822, e a cerveja lupulada, que se conservava melhor, impôs-se devagar nos séculos seguintes. Em 23 de abril de 1516, em Ingolstadt, os duques da Baviera determinaram que a cerveja só podia levar cevada, lúpulo e água. A levedura não constava porque o seu papel na fermentação ainda não era compreendido; Louis Pasteur mostrou na década de 1850 que a fermentação é obra de células vivas. No laboratório Carlsberg de Copenhaga, Emil Christian Hansen descobriu que leveduras selvagens misturadas com a de cervejaria causavam a «doença da cerveja». Obteve uma cultura pura a partir de uma única célula boa, usada pela primeira vez em produção completa em novembro de 1883, e a lager tornou-se muito mais fiável. A Carlsberg ofereceu a levedura a outros cervejeiros.

As glândulas amarelas de lupulina, dentro do cone de lúpulo, guardam as resinas amargas e o aroma.

Números-chave

Vestígio químico antigo de cerveja de cevada (discutido)
Godin Tepe, Irão, fim do IV milénio a.C.

Temperatura habitual de brassagem
Cerca de 62 a 68 °C, onde as enzimas do malte melhor desdobram o amido

Lei bávara da pureza
23 de abril de 1516, Ingolstadt: só cevada, lúpulo e água

Primeira levedura de cultura pura em produção
Carlsberg, Copenhaga, novembro de 1883

Fontes

1. Five things I learned about Sumerian beer · University of Chicago Magazine https://mag.uchicago.edu/arts-humanities/five-things-i-learned-about-sumerian-beer
2. Purifying yeast · Carlsberg Group https://www.carlsberggroup.com/pursuit-of-better/scientific-discoveries/purifying-yeast/
3. 500 Jahre Reinheitsgebot: Deutsches Bier, was darf rein und was ist drin · Stiftung Warentest https://www.test.de/500-Jahre-Reinheitsgebot-Deutsches-Bier-was-darf-rein-und-was-ist-drin-4991639-0/
4. The brewing process · Cornell Brewing Program, Cornell University https://blogs.cornell.edu/brewing/?p=116
5. History of beer · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_beer
6. Mashing · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Mashing

Factos verificados em 2026-10-12

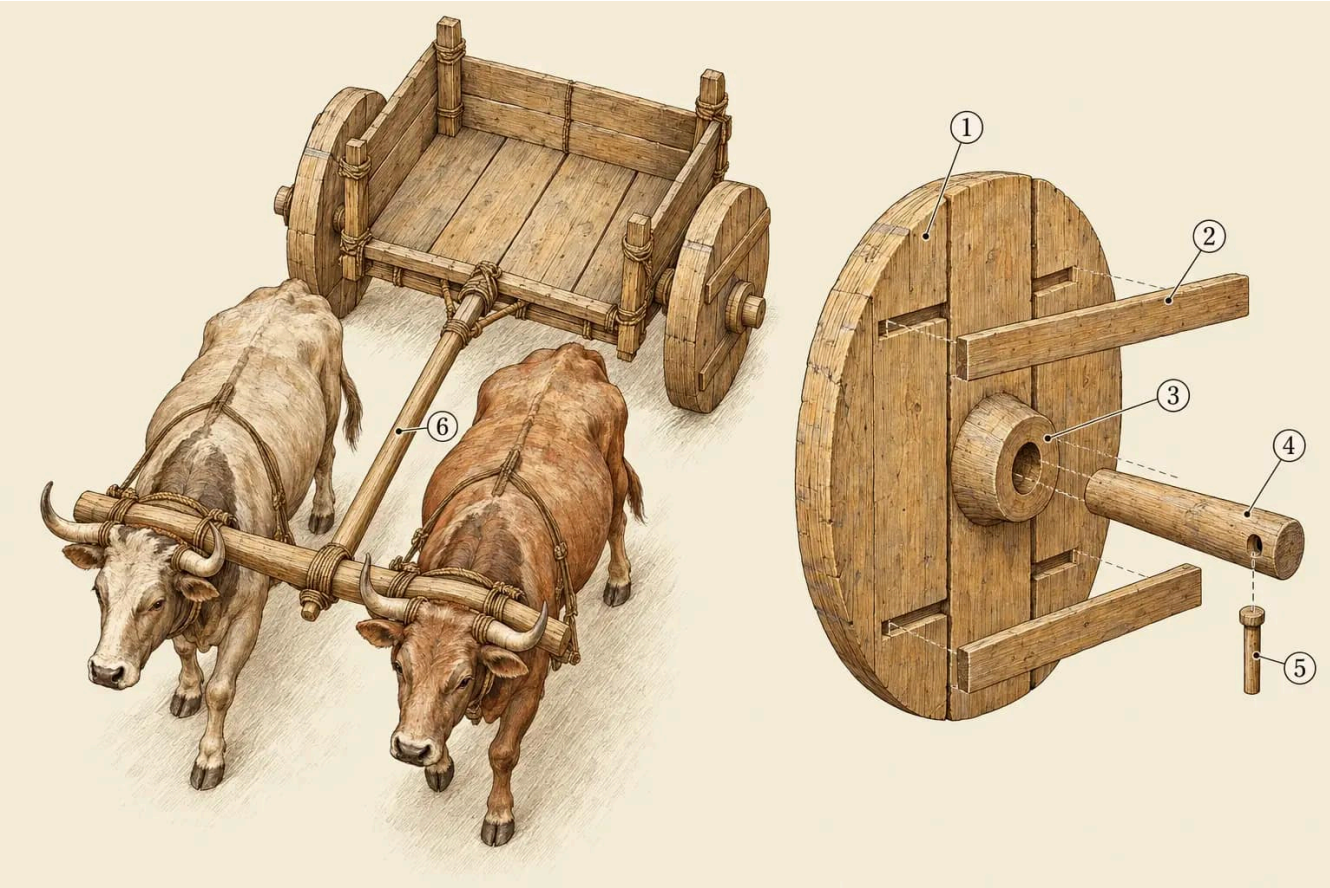
Roda e eixo

Rolar em vez de arrastar

c. 3.500 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5)

Conduz a: Bicicleta (p. 253), Grua e roldana (p. 149), Roda de fiar (p. 189), Locomotiva a vapor (p. 244), Roda hidráulica (p. 157)



1 Tábuas do disco 2 Travessa 3 Cubo 4 Eixo 5 Cavilha 6 Cabeçalho

Uma roda que gira num eixo permite que a carga role em vez de raspar no chão, e o atrito passa para um pequeno mancal untado. Os carros com rodas surgiram na Mesopotâmia e na Europa por volta de 3500 a.C., e a mesma ideia fez girar mais tarde sarilhos, moinhos e rodas hidráulicas.

O que é

Uma roda com eixo é um disco fixo a um veio ou que gira em torno dele. Debaixo de um carro, leva a carga sobre o terreno; num sarilho de poço ou num cabrestante, multiplica a força.

Os rolos sob um trenó têm de ser levados constantemente para a frente; a roda fica sempre debaixo da carga. O difícil, e demorado, foi fazê-la girar com suavidade em torno de um eixo fixo.

A prancha mostra a reconstituição de um tipo antigo de roda maciça de três tábuas, encontrado em muitas escavações na Europa e no Próximo Oriente, sob um carro de bois de cerca de 3000 a.C.

Como funciona

Um trenó arrastado assenta todo o peso nos patins e raspa em cada saliência. Sobre rodas, o atrito concentra-se num ponto pequeno, entre o eixo e o furo onde gira, enquanto o aro rola sobre o terreno.

Sobre rolos a carga avança com facilidade, mas cada rolo que fica para trás tem de ser levado de novo para a frente.

O ganho vem da alavanca, porque a superfície do eixo está muito mais perto do centro do que o aro. Numa roda de 70 centímetros de diâmetro com um eixo de 7 de grossura, o aro tem dez vezes mais alavanca, e a força necessária para vencer o atrito do eixo é cerca de um décimo desse atrito. O aro ainda tem de rolar no chão, o que acrescenta resistência própria em caminhos moles ou acidentados. A massa lubrificante, em geral gordura animal ou alcatrão, baixa ainda mais o atrito do eixo.

Um eixo demasiado fino parte-se e um demasiado grosso aumenta o atrito. O furo tem de ser redondo e liso, e o eixo justo sem prender. Em alguns carros antigos, as rodas encaixavam nas pontas quadradas do eixo e giravam com ele, enquanto a parte central, arredondada, corria em apoios por baixo da caixa. A maioria dos carros posteriores tinha um eixo fixo, com as rodas a girar nas pontas, seguras por cavilhas.

Como construir

Uma roda maciça para uma carroça de mão ligeira faz-se com ferramentas manuais. Os passos abaixo são um esboço, sem desenhos cotados; um carro para cargas pesadas ou animais de tiro exige a experiência de um rodeiro.

Escolher a madeira. Use madeira dura, resistente e bem curada, como carvalho, freixo ou olmo. São precisas três tábuas com cerca de 5 centímetros de espessura, a do meio mais larga do que as laterais.

Cortar o disco. Junte as tábuas pelos cantos e marque um círculo com um cordel e uma estaca. Abra ranhuras de través ao veio e meta nelas duas travessas de madeira dura para prender as tábuas, unidas entre si por espigas. Depois serre o contorno.

Fazer o cubo. Para a roda não oscilar, o centro precisa de mais espessura: fixe em cada face um bloco torneado, o cubo, com pinos de madeira dura colados que atravessam o disco. Abra o furo do eixo em esquadria com o disco e alise-o com uma grosa ou uma barra de ferro aquecida.

Talhar o eixo. Desbaste uma peça de madeira dura, direita e sem nós. Afine as pontas para entrarem nos furos com alguma folga e fure cada ponta de lado a lado, logo além do cubo e da anilha, para a cavilha. Aparafuse o eixo sob o estrado do carro com calços de madeira ou braçadeiras de ferro.

Montar e testar. Unte as pontas, enfie as rodas, ponha as anilhas e crave as cavilhas. Cada roda deve girar livre e direita, sem bambolear. Carregue o carro aos poucos e verifique as juntas depois de cada ensaio.

> **Segurança.** Enxós, machados e trados fazem cortes profundos: mantenha as duas mãos atrás do gume. Um carro carregado numa encosta pode fugir e esmagar quem estiver à frente, por isso teste em terreno plano e calce as rodas quando parar. Se abrir o furo do eixo com ferro em brasa, tenha água por perto.

História e evolução

Entre cerca de 3600 e 3300 a.C., surgem indícios da roda numa vasta área. Tabuinhas de argila de Uruk, na Mesopotâmia, usam um sinal para «carro». Um vaso de Bronocice, no sul da Polónia, tem gravado o que parece um carro de quatro rodas. Outros achados vêm do norte do Cáucaso e das estepes a norte do mar Negro. Os arqueólogos ainda discutem onde nasceu a ideia.

Roda de carro de guerra da Idade do Bronze: seis raios e aro de cambas curvadas, muito mais leve do que um disco maciço.

A roda mais antiga conservada foi encontrada em 2002 nos pântanos de Liubliana, na Eslovénia. Mede cerca de 70 centímetros de diâmetro, é feita de tábuas de freixo unidas por travessas de carvalho, e o radiocarbono data-a de cerca de 3350 a 3100 a.C. O eixo de carvalho, com cerca de 1,2 metros, tem pontas quadradas que encaixavam na roda.

O antropólogo David Anthony defende que a roda chegou tarde por falta de ferramentas. Abrir furos redondos e talhar eixos direitos exigia formões e goivas de cobre fundido, que só se tornaram comuns no Próximo Oriente depois de cerca de 4000 a.C.

As rodas maciças eram robustas mas pesadas, e adequavam-se aos lentos carros de bois. Por volta de 2000 a.C., a cultura de Sintashta, a leste dos Urais, construiu rodas leves de raios e montou-as em carros de guerra de duas rodas puxados por cavalos. Ambos chegaram ao Egito, à Grécia e à China nos séculos seguintes.

Colocação do rasto: o aro de ferro é posto a quente e encolhe ao arrefecer, apertando a roda.

No I milénio a.C., os rodeiros celtas começaram a cingir as cambas com um único rasto de ferro, montado a quente para encolher e apertar as juntas, um método usado até ao século XX.

O século XIX trouxe as rodas de raios de arame tensionados, leves o bastante para a bicicleta, e depois os pneus de borracha cheios de ar. Um eixo ferroviário continua a funcionar da mesma maneira: a carga assenta num pequeno mancal lubrificado enquanto a roda rola sobre o carril.

Números-chave

Roda mais antiga conservada
Pântanos de Liubliana, Eslovénia, c. 3150 a.C.

Primeiras imagens de carros
c. 3500–3350 a.C. (tabuinhas de Uruk, vaso de Bronocice)

Roda de raios
c. 2000 a.C., estepes a leste dos Urais

Atrito do eixo sentido no aro
Reduzido pela razão entre o diâmetro da roda e o do eixo

Fontes

1. Wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Wheel
2. World's oldest wheel found in Slovenia · Government Communication Office of Slovenia https://slovenia.si/art-and-cultural-heritage/worlds-oldest-wheel-found-in-slovenia
3. Replica of the oldest wooden wheel with an axle · City Museum of Ljubljana (MGML) https://mgml.si/en/city-museum/news/667/replica-of-the-oldest-wooden-wheel-with-an-axle-for-the-winner-of-the-26th-tour-of-slovenia/
4. Why It Took So Long to Invent the Wheel · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/why-it-took-so-long-to-inv/
5. Sennacherib's Quarry, 705–681 BCE · Center for Online Judaic Studies https://cojs.org/sennacherib-s_quarry-_705-681_bce/
6. Old Civilization: Layard's Nineveh (1853) · Scientific American https://www.scientificamerican.com/article/old-civilizationlayards-nineveh/
7. Estimating Wagon Draft (TechGuide 2G-213) · Tillers International https://tillersinternational.org/wp-content/uploads/2025/01/EstimatingWagonDraftTechGuide.pdf
8. Friction and Friction Coefficients for various Materials · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
9. Densities of Solids · Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/density-solids-d_1265.html

Factos verificados em 2026-10-11

Escrita

O saber que sobrevive à memória

c. 3.300 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Cerâmica (p. 23), Ferramentas de pedra (p. 5)

Conduz a: Numeração posicional (p. 97), Prensa de impressão (p. 205), Telégrafo elétrico (p. 286)

1 Fichas de argila para contar 2 Invólucro de argila aberto, com fichas dentro 3 Tabuinha arcaica: números, cevada e um jarro
4 Cálamo de cana cortada 5 Paleta de escriba com tinta preta e vermelha 6 Rolo de papiro

A escrita fixa a língua com marcas visíveis que outra pessoa pode reler mais tarde, longe ou muito depois da morte de quem escreveu. Surgiu várias vezes de forma independente; entre os testemunhos mais antigos estão tabuinhas do sul da Mesopotâmia de cerca de 3300 a.C., em que os contadores dos templos imprimiam e traçavam sinais enquanto a argila estava húmida.

O que é

A escrita é um conjunto de marcas visíveis, combinadas dentro de uma comunidade, que representam as palavras ou os sons de uma língua. Um leitor que nunca conheceu o autor consegue recuperar a mensagem, mesmo séculos depois.

Faziam-se contas muito antes de se escrever. No Próximo Oriente surgem, a partir de cerca de 8000 a.C., pequenas fichas de argila em forma de cone, esfera ou disco. A arqueóloga Denise Schmandt-Besserat vê nelas peças para contar quantidades de cereal, óleo ou gado; outros, como Lucy Bennison-Chapman, defendem que muitas tinham

outros usos. Por volta de 3500 a.C., os contadores fechavam as fichas em bolas ocas de argila e imprimiam as suas formas por fora. Assim registavam quantidades, mas não um nome nem uma frase.

Uma escrita pode anotar palavras inteiras, sílabas ou sons isolados, e muitas combinam estes princípios.

Cada forma de ficha designava provavelmente um tipo de mercadoria. Seladas num invólucro de argila, as fichas podiam guardar o registo de uma dívida até ao pagamento.

Como funciona

Duas ideias transformaram a contagem em escrita. A primeira deu sinais distintos à quantidade e à mercadoria. Nas tabuinhas mais antigas de Uruk, os números são impressos com a ponta redonda de um cálamo e os bens são desenhados ao lado com uma ponta aguçada: cinco marcas e uma espiga de cevada para cinco medidas de cevada. O valor de um sinal numérico ainda dependia do que se contava, com sistemas diferentes para o cereal, o gado ou a terra.

A segunda foi o princípio do rébus: usar um sinal pelo seu som. Em sumério, «flecha» e «vida» soavam da mesma maneira, por isso o sinal da flecha podia escrever também «vida», uma palavra difícil de desenhar. Os sinais fonéticos surgem na Mesopotâmia por volta de 3000 a.C.

Conforme o ângulo, a aresta de uma cana cortada deixa cunhas verticais, horizontais ou oblíquas.

Traçar curvas na argila húmida levanta-a em rebordos, por isso os escribas passaram a carregar com a aresta de uma cana cortada. Cada pressão deixava uma cunha, e ao longo do III milénio a.C. os desenhos tornaram-se grupos de cunhas, daí o nome cuneiforme, do latim *cuneus*.

Os escribas egípcios mastigavam a ponta de um caule de junco até a abrir em pincel e esfregavam-na em pastilhas de tinta preta ou vermelha encaixadas numa paleta de madeira. Escreviam em papiro, tiras da medula da planta dispostas em duas camadas cruzadas, prensadas e secas. Mais tarde, os alfabetos usaram sinais para sons isolados, de modo que algumas dezenas chegam para escrever qualquer palavra.

Como construir

É preciso argila fina, água, uma cana seca ou uma vara de jardim da grossura de um lápis, uma faca e um pano húmido.

Preparar a argila. A argila de oleiro serve tal como está. A de uma margem de rio deve ficar de molho, passar por um pano para tirar a areia grossa e endurecer até guardar a marca do polegar sem colar. Amasse-a bem para expulsar as bolhas de ar.

Moldar a tabuinha. Achate uma bola do tamanho de um ovo pequeno até formar uma almofada com cerca de 2 cm de espessura, que caiba numa mão.

Cortar o cálamo. Serre cerca de 15 cm de cana. Perto de uma ponta, desbaste os lados com a faca até a ponta ter secção quadrada, com faces planas e arestas vivas, e corte-a a direito: um canto premido na argila deixa uma cunha. Corte a outra ponta através de um nó, para que o septo maciço feche o tubo, e arredonde-a; também serve um pauzinho de madeira redondo. Premida na vertical deixa um círculo e, inclinada, um entalhe em forma de D, as duas formas dos primeiros números.

Escrever. Divida a face em casas com a aresta comprida do cálamo e ponha uma entrada em cada uma. Imprima o número com a ponta redonda e levante-a sem arrastar. Depois desenhe o sinal do que se conta com um canto da ponta quadrada, como os primeiros escribas, ou componha-o com cunhas impressas, como os seus sucessores.

Secar. Deixe a tabuinha vários dias à sombra, virando-a uma vez para não rachar. A argila seca volta a amolecer na água; a cozedura num forno, como na cerâmica, torna-a duradoura.

Experimentar o alfabeto. Diga dez palavras em voz alta e anote os sons que ouve, sem pensar nas letras com que se escrevem. Dê a cada som um sinal simples, com o velho truque: desenhe uma coisa cujo nome comece por esse som. Se nenhuma palavra começar por um som, invente-lhe um sinal. Acrescente um sinal sempre que uma palavra trouxer um som novo: a maioria dos alfabetos tem entre vinte e quarenta e poucas letras.

> **Segurança.** Ao aparar a cana, corte sempre afastando a lâmina do corpo. Não lixe nem varra a argila seca: o seu pó contém sílica fina que prejudica os pulmões; limpe com um pano húmido. Coza as tabuinhas apenas num forno de cerâmica e nunca uma peça ainda húmida, que pode rebentar.

História e evolução

As tabuinhas mais antigas vêm do nível Uruk IV do bairro dos templos de Uruk, datado em geral de cerca de 3350–3200 a.C., e por alguns autores de 3200–3100. Conhecem-se mais de 6000 tabuinhas e fragmentos protocuneiformes de Uruk e de outros sítios, sobretudo contas. O cuneiforme durou mais de três mil anos.

No Egito, etiquetas de osso e marfim do túmulo U-j de Abidos, datadas de cerca de 3200 a.C., já trazem hieróglifos, alguns com valor fonético. Os especialistas ainda discutem se o Egito foi buscar a ideia à Mesopotâmia. A escrita chinesa aparece nos ossos oraculares Shang de Anyang por volta de 1200 a.C., já madura. Na Mesoamérica escrevia-se em Oaxaca por volta de 400 a.C., e os glifos maias pintados de San Bartolo datam de 300–200 a.C. Não se conhece contacto entre estas regiões e o Próximo Oriente nessas datas: são invenções independentes.

Na China, o escriba esfregava um bastão de tinta numa pedra molhada e escrevia com um pincel de pelo pontiagudo.

O alfabeto nasceu dos hieróglifos. Cerca de quarenta inscrições curtas das minas de turquesa de Serabit el-Khadim, no Sinai, e duas de Wadi el-Hol, no Egito, usam apenas 27 a 29 sinais. Os seus autores falavam uma língua semítica e davam a cada imagem egípcia o primeiro som do seu nome na própria língua: a casa, *beth*, passou a b; a água, *mem*, passou a m. As datas propostas vão de cerca de 1850 a 1550 a.C. Por volta de 1200–1050 a.C., os fenícios escreviam 22 letras consoantes da direita para a esquerda. Os gregos adotaram-nas por volta de 800 a.C. e acrescentaram vogais, e os etruscos transmitiram o alfabeto a Roma no século VII a.C.

O papel, fabricado na China desde o século II a.C., tornou-se mais tarde o suporte habitual da escrita e dos livros impressos.

Números-chave

Tabuinhas mais antigas
Uruk, sul do Iraque, por volta de 3350–3200 a.C. (3200–3100 segundo alguns autores)

Invenções independentes
Mesopotâmia, China e Mesoamérica; Egito provavelmente, mas é discutido

Alfabeto fenício
22 letras consoantes, por volta de 1200–1050 a.C.

Primeiro corpus
Mais de 6000 tabuinhas e fragmentos protocuneiformes, sobretudo contas

Primeiro alfabeto
De 27 a 29 sinais, Sinai e Egito, entre cerca de 1850 e 1550 a.C.

Fontes

1. The state of decipherment of proto-Elamite (Englund, 2004) · Cuneiform Digital Library Initiative https://cdli.earth/files-up/publications/englund2004c.pdf
2. Seals and signs: tracing the origins of writing in ancient South-west Asia (Kelley, Cartolano & Ferrara, 2024) · Antiquity, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/seals-and-signs-tracing-the-origins-of-writing-in-ancient-southwest-asia/B3C2D400F3F80A7A0162D9035C9C2804
3. The Evolution of Writing (Schmandt-Besserat, 2014) · Denise Schmandt-Besserat, University of Texas at Austin https://sites.utexas.edu/dsb/tokens/the-evolution-of-writing/
4. Reconsidering 'Tokens': The Neolithic Origins of Accounting or Multifunctional, Utilitarian Tools? (Bennison-Chapman, 2019) · Cambridge Archaeological Journal, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-archaeological-journal/article/abs/reconsidering-tokens-the-neolithic-origins-of-accounting-or-multifunctional-utilitarian-tools/7E6C04CB040AD8AA0EA84B94D4D275C4
5. Visible Language: Inventions of Writing in the Ancient Middle East and Beyond (Woods, ed., 2010) · Institute for the Study of Ancient Cultures, University of Chicago https://isac.uchicago.edu/sites/default/files/uploads/shared/docs/oimp32.pdf
6. Early Egyptian Writing (1999) · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9903/newsbriefs/egypt.html
7. Oracle bone (50-31) · Nelson-Atkins Museum of Art https://art.nelson-atkins.org/objects/23289/oracle-bone
8. Evidence of Earliest Maya Writing (report on Saturno, Stuart & Beltrán, Science, 2006) · Mesoweb https://www.mesoweb.org/reports/SanBartoloWriting.html
9. Proto-Sinaitic: Progenitor of the Alphabet (Simons, 2011) · Rosetta 9, University of Birmingham https://rosetta.bham.ac.uk/wp-content/uploads/2024/02/Simons_Proto-Sinaitic_Rosetta9.pdf
10. The alphabet · Deutsche Nationalbibliothek, German Museum of Books and Writing https://mediengeschichte.dnb.de/DBSMZBN/Content/EN/SoundsSymbolsScript/01-alphabet-en.html
11. Papyrus · Centre for the Study of Manuscript Cultures, Universität Hamburg https://www.csmc.uni-hamburg.de/profiling-guide/materials/writing-surfaces/papyrus.html
12. Scribal Palette · Institute of Egyptian Art and Archaeology, University of Memphis https://memphis.edu/egypt/exhibit/palette.php
13. The Cuneiform Stylus (on Cammarosano, Mesopotamia 49, 2014) · Book and Sword https://www.bookandsword.com/2022/12/10/the-cuneiform-stylus/
14. What the Earliest Texts Say About the Invention of Writing · Discover Magazine https://www.discovermagazine.com/what-the-earliest-texts-say-about-the-invention-of-writing-692

Factos verificados em 2026-10-14

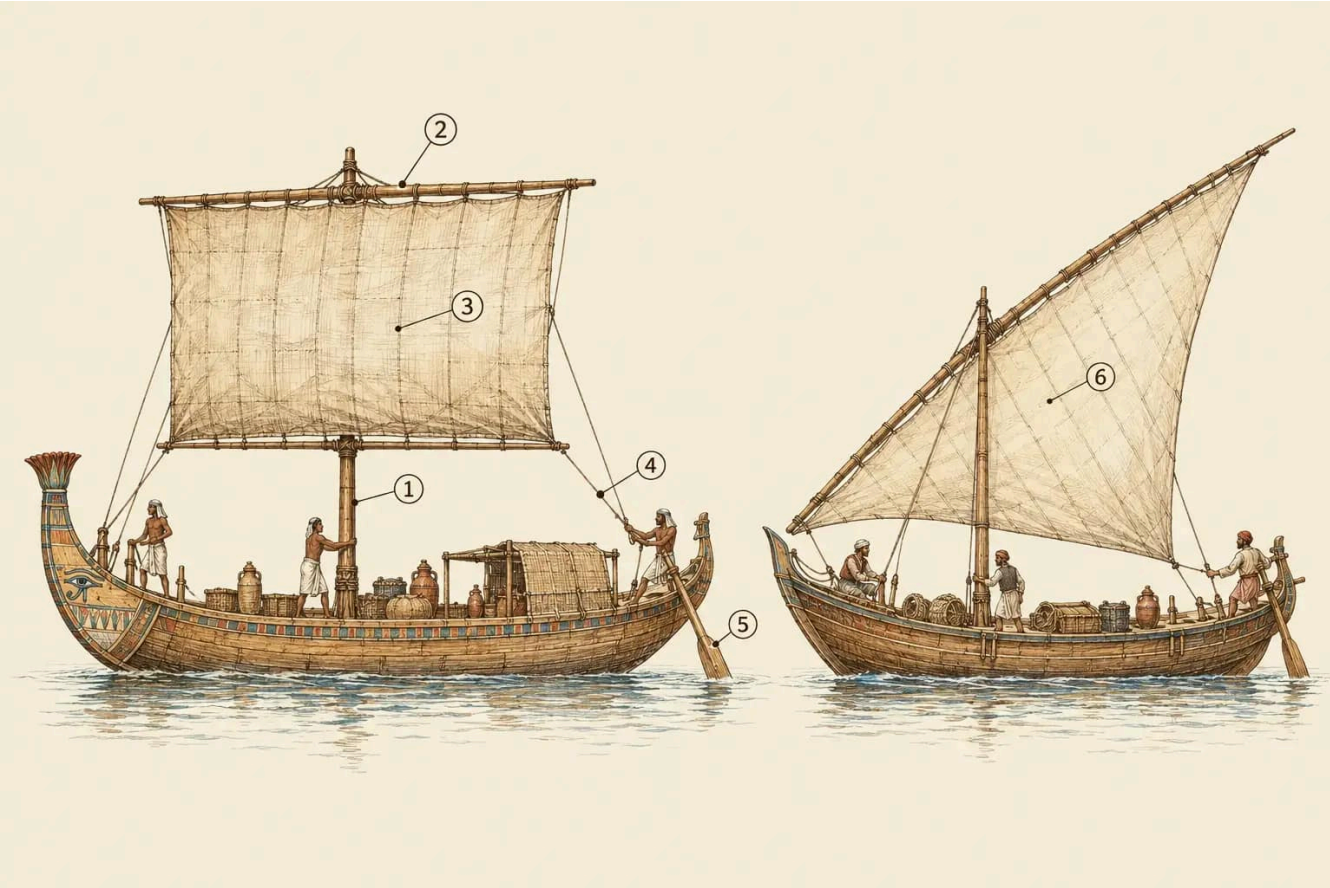
Vela

Apanhar o vento para avançar

c. 3.200 a.C. · Pré-história · Fixação

Requer: Corda e cordame (p. 13), Tecelagem (p. 44)

Conduz a: Navegação astronómica (p. 210)



1 Mastro 2 Verga 3 Vela redonda 4 Escota 5 Remo de governo 6 Vela latina

Uma vela é um pano de tecido ou de esteira içado num mastro para captar o vento e mover um barco. Bem orientada, empurra o barco com o vento pela popa ou de través e, bordejando em ziguezague, até na direção de onde o vento sopra.

O que é

Uma vela é uma superfície estendida ao vento para impelir uma embarcação. As primeiras eram provavelmente esteiras ou peles erguidas numa vara. Depois vieram velas tecidas em linho, lã ou algodão, e hoje sobretudo em fibras sintéticas. Presa a um mastro e regulada com cabos, uma vela move um barco sem combustível nem remadores.

A prancha mostra velas redondas e velas longitudinais. A vela redonda, também chamada quadrada, pende de uma vara horizontal atravessada no barco, a verga, e rende mais com o vento pela popa. Uma vela longitudinal fica ao comprido do barco. A vela latina é um triângulo suspenso de uma verga longa e inclinada e funciona bem com vento de través.

Como funciona

Com o vento pela popa, o princípio é simples: o ar empurra a vela como empurraria uma mão aberta. Neste rumo, um barco não pode ir mais depressa do que o vento, porque quanto mais rápido vai, mais fraco é o vento que sente.

Com o vento de lado, a vela funciona como uma asa. Curva e posta num pequeno ângulo ao vento, desvia o escoamento do ar, e o ar empurra a vela de volta, sobretudo para o lado e em parte para a frente. O casco, e a quilha se a houver, resistem a deslizar para o lado porque a água os empurra de volta, e sobra um impulso para a frente. Por isso um barco pode navegar mais depressa com vento de través do que com vento em popa.

Nenhuma vela leva um barco diretamente contra o vento. Um veleiro moderno navega a cerca de 40 a 45 graus do vento. Para chegar a um ponto a barlavento, avança em ziguezague e cruza a direção do vento a cada viragem. Na linguagem dos marinheiros, isto é bordejar.

A tripulação regula a vela com cabos. A escota (4) caça ou folga um dos cantos inferiores da vela para acertar o ângulo em relação ao vento. A adriça iça a verga (2) ao longo do mastro (1). Num navio de pano redondo, os braços fazem rodar a verga. Com vento forte, a tripulação riza, isto é, reduz a área de pano. O remo de governo (5), e mais tarde o leme, mantém o rumo.

Como se constrói

Este esboço descreve a confeção de uma pequena vela redonda. Não é um desenho cotado nem um projeto para acrescentar uma vela a qualquer barco. Usar um aparelho concebido para a embarcação em causa e verificado por um construtor naval qualificado ou um instrutor de vela quanto ao equilíbrio entre casco, vela e governo, à estabilidade e à resistência das fixações.

Reunir os materiais. Usar a lona, a linha, a tralha, a verga e as ferragens indicadas no plano verificado. São também necessários uma agulha de vela e um repuxo. O apoio do mastro e as suas fixações devem seguir esse plano.

Cortar e unir os panos. Estender as tiras de lona lado a lado. Fazer as sobreposições e os pontos de costura indicados no plano para os esforços previstos.

Embainhar e reforçar as orlas. Dobrar e coser as bainhas conforme o plano e depois coser a tralha. O pano e as costuras transmitem os esforços do vento; o cabo reforça as orlas. Reforçar os cantos e colocar as argolas ou os ilhós previstos.

O repuxo permite à mão empurrar uma agulha grossa através de várias camadas de pano.

Aparelhar. Seguir o plano verificado para prender a vela à verga e montar a adriça e as escotas. Verificar se a verga pode ser arriada e se os cabos correm livremente.

Praticar antes de navegar. Pedir a um instrutor que demonstre como arriar a vela e reduzir a sua força com este aparelho, e praticar sob a sua orientação antes de sair. Largar apenas as escotas pode deixar uma vela redonda a receber vento. Fazer a primeira prova em águas abrigadas, com vento fraco e um instrutor a bordo.

> **Segurança.** Uma rajada pode virar um barco pequeno em segundos. Usar colete salva-vidas, consultar a meteorologia e velejar primeiro com vento fraco, perto da costa, com alguém de vigia. Nunca prender a escota de maneira que não possa ser largada depressa. Uma verga ou uma retranca que balança pode bater na cabeça, e a água fria esgota depressa quem nada.

História e evolução

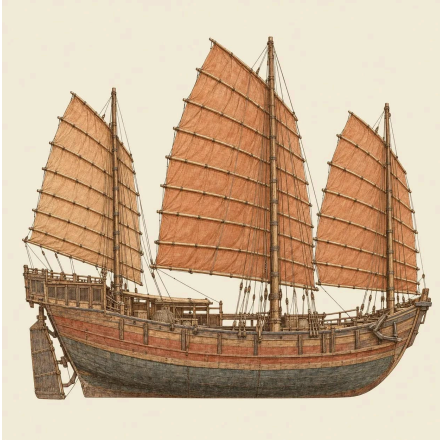
Os barcos são muito mais antigos do que as velas: muito antes de usar o vento, as pessoas moviam-nos à pagaia, à vara e a remos. Não se sabe quando surgiu a vela, porque tecidos e esteiras raramente se conservam. No Kuwait, restos de barcos de mar feitos de caniço e revestidos de betume datam de entre 5500 e 5000 a.C. Robert Carter estuda-os como testemunhos de trocas marítimas antigas; os restos dos barcos, por si só, não provam o uso de velas.

A vela em garra de caranguejo, presa entre duas varas, levou as canoas austronésias através do Pacífico.

Há representações possíveis no Egito por volta de 3200 a.C. Um jarro pintado do período Nagada II, no Museu Britânico, mostra um barco com um objeto numa vara. R. L. Bowen interpretou-o como uma vela; a outra leitura é um estandarte. A data do catálogo, cerca de 3200 a.C., refere-se a este possível indício e não a uma data conhecida da invenção. No Nilo, a corrente levava os barcos para norte e o vento podia empurrá-los de volta para sul.

As velas redondas eram usadas nos navios egípcios, fenícios, gregos e romanos, e mais tarde nos barcos vikings, cujas velas eram muitas vezes tecidas em lã. No Pacífico e no Índico, os navegadores austronésios desenvolveram os seus próprios aparelhos. As palavras para «vela» nas suas línguas remontam a cerca de cinco mil anos, e a vela em garra de caranguejo levou as suas canoas com balanceiro por milhares de quilómetros de mar aberto.

A vela latina aparece no Mediterrâneo já no século II d.C. e torna-se comum a partir do século V. Era mais barata de fazer e manter do que a vela redonda, embora não fosse claramente mais rápida. As antigas imagens de navios chineses mostram velas redondas. A China pode ter adotado a vela do junco, reforçada com réguas de bambu, por volta do século XII; isto não demonstra uma substituição geral das velas redondas.



As réguas de bambu mantêm a vela do junco plana e rígida.

A partir do século XV, os construtores navais europeus usaram aparelhos mistos de velas redondas e latinas nas carracas e em algumas caravelas. Estas tradições contribuíram para os aparelhos dos veleiros oceânicos posteriores. O vapor tomou conta da navegação comercial nos séculos XIX e XX. As velas sobrevivem em iates e barcos de regata, hoje cortadas em tecidos sintéticos.

Números-chave

Primeiras representações possíveis
Egito, cerca de 3200 a.C.

Vela latina
No Mediterrâneo já no século II d.C.

Rumo mais próximo do vento
Cerca de 40–45° num veleiro moderno

Vela de junco com réguas
Possivelmente adotada na China por volta do século XII d.C.

Fontes

1. Sail · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sail
2. Junk (ship) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Junk_(ship)
3. Boat remains and maritime trade in the Persian Gulf during the sixth and fifth millennia BC (R. Carter, 2006) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/boat-remains-and-maritime-trade-in-the-persian-gulf-during-the-sixth-and-fifth-millennia-bc/98224B03E778DE5C9D3EAA806A5ABCF8
4. Egypt's Earliest Sailing Ships (R. L. Bowen, 1960) · Antiquity https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/egypts-earliest-sailing-ships/28F7218895B44D2DC9BF36AECD5B3F79
5. The physics of sailing (J. Wolfe) · School of Physics, UNSW Sydney https://newt.phys.unsw.edu.au/~jw/sailing.html
6. The Ship’s Sail · The Viking Ship Museum https://www.vikingeskibsmuseet.dk/en/professions/education/all-about-the-viking-ship/the-ships-sail
7. Seam · UK Sailmakers https://www.uksailmakers.com/encyclopedia/glossary/seam/
8. Carrack (Não) · The Mariners’ Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/watercraft/carrack-nao/
9. Hypothetical Reconstruction of an Ancient Egyptian Sea-going Vessel from the Reign of Hatshepsut, 1500 BCE (P. Couser, C. Ward and T. Vosmer, 2009) · RINA Historic Ships conference https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Navires/Min%20of%20the%20Desert/Min-Couser2012.pdf
10. Drag Equation · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-equation/

Factos verificados em 2026-10-12

Sabão

Gordura e cinza contra os germes

c. 2.800 a.C. · Antiguidade · Fixação

Requer: Domínio do fogo (p. 9), Cerâmica (p. 23)

Conduz a: Higiene e antissepsia (p. 299)

1 Barril de cinza para a barrela 2 Pote que recolhe a barrela 3 Sebo 4 Caldeiro de sabão sobre o lume 5 Molde e barras cortadas

O sabão obtém-se fervendo ou misturando gordura com um álcali forte, que a divide em glicerina e em sais de ácidos gordos capazes de levar a gordura e a sujidade para a água. As receitas de produtos de limpeza parecidos com o sabão remontam à Mesopotâmia do III milénio a.C.; o álcali industrial barato tornou-o um produto corrente no século XIX.

O que é

O sabão é um produto de limpeza feito com gorduras ou óleos e um álcali. Cada molécula de sabão tem uma ponta que se agarra à água e uma longa cauda que se agarra à gordura, e assim consegue levar gordura, sujidade e muitos micróbios da pele para a água de enxaguar. O sabão feito com hidróxido de sódio endurece em barras; os sabões de potássio ficam moles ou líquidos. A barrela tirada da cinza de lenha continha carbonato de potássio, e não um hidróxido moderno, e dava um sabão mole.

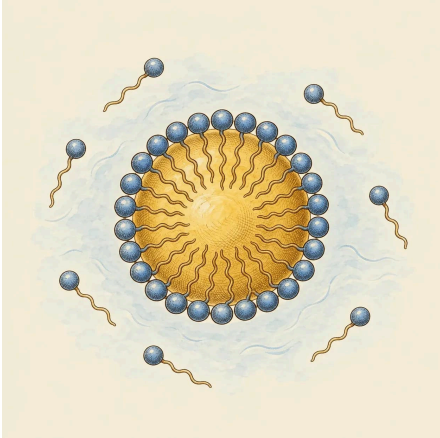
A prancha mostra o fabrico de sabão tal como se fazia nas quintas da Europa e da América do Norte até ao século XIX: água deitada sobre a cinza de lenha para fazer a barrela, um pote que a recolhe, sebo derretido, um caldeiro a

ferver sobre o lume e um molde com barras cortadas a secar.

Como funciona

As gorduras e os óleos são triglicerídeos: três cadeias de ácidos gordos ligadas a uma molécula de glicerina. Um álcali forte quebra essas ligações. Cada ácido gordo fica com o sódio ou o potássio do álcali e torna-se uma molécula de sabão, e a glicerina fica livre. Os químicos chamam a esta reação saponificação.

Na água, as moléculas de sabão juntam-se em esferas minúsculas, as micelas, com as caudas gordas por dentro e as cabeças hidrófilas por fora. Uma gota de gordura é puxada para o centro e sai com elas no enxaguamento. As mesmas caudas podem meter-se no invólucro gordo de algumas bactérias e vírus, entre eles os coronavírus, e desfazê-lo. É por isso que lavar com água e sabão remove muito mais germes do que a água sozinha, embora os micróbios com um revestimento mais duro resistam melhor.



Uma micela: as caudas gordas do sabão prendem a gordura por dentro, e as cabeças, atraídas pela água, deixam o enxaguamento levá-la.

Na quinta, o álcali vinha da cinza. A água deitada sobre um barril de cinza de madeira dura dissolvia sais de potássio, sobretudo carbonato de potássio, e saía como uma barrela castanha. Fervida seis a oito horas com sebo, dava um sabão mole e gelatinoso, guardado num barril e tirado com uma concha. Sal comum juntado no fim da fervura fazia subir um sabão mais firme, em bolo que se podia cortar em barras, mas o sal era caro e muitas famílias do campo passavam sem ele. O verdadeiro sabão duro de soda precisava de soda, tirada das cinzas de algas e de plantas do litoral até Nicolas Leblanc descobrir como a fabricar a partir do sal.

Como fazer

Hoje fazem-se pequenas quantidades de sabão pelo processo a frio, com hidróxido de sódio vendido para saboaria e uma calculadora de saponificação. O hidróxido de sódio é corrosivo e pode cegar em segundos: é trabalho só para adultos, numa divisão calma e arrumada.

Juntar o material. São precisos óculos de proteção, luvas resistentes a químicos e mangas compridas, uma balança digital ao grama, recipientes de aço inoxidável ou de polipropileno vendidos como resistentes à soda quente (nunca de alumínio, que reage com ela), uma varinha mágica, um termómetro, um molde de silicone ou forrado e azeite puro ou uma mistura de óleos testada.

Calcular. Introduza o peso exato de cada óleo numa calculadora de saponificação com uma sobregordura de cerca de 5 %. Para 500 g de azeite, dá cerca de 64 g de hidróxido de sódio e cerca de 170 g de água. Confirme o resultado duas vezes: álcali a mais dá um sabão que queima a pele.

Preparar a solução de soda. Ao ar livre ou junto de uma janela aberta, pese primeiro a água e depois deite devagar o hidróxido de sódio na água, a mexer, nunca a água sobre a soda. A solução aquece depressa e liberta vapores por um momento: não os respire. Deixe-a arrefecer até cerca de 40 °C.

Misturar e verter. Amorne o óleo ou a mistura de óleos a uma temperatura parecida, junte a solução e bata em impulsos curtos até a mistura engrossar como um creme de pasteleiro ralo. Verta-a no molde, tape e deixe repousar um a dois dias.

Curar. Desenforme ao fim de um a dois dias e corte em barras. Uma receita bem calculada já acabou de reagir; quatro a seis semanas de cura ao alto, num sítio seco e arejado, mais no caso do sabão só de azeite, deixam a água evaporar para as barras endurecerem e durarem. A cura não salva um sabão com soda a mais: se uma barra curada ainda arder na pele, deite fora todo o lote.

> **Segurança.** Use sempre óculos e luvas ao manusear a soda ou o sabão fresco, e mantenha crianças e animais fora da divisão. Se a soda tocar na pele, passe logo por muita água corrente; se chegar aos olhos, lave com água corrente durante pelo menos 30 minutos enquanto alguém liga para o número de emergência. Rotule cada recipiente, guarde o hidróxido de sódio fechado à chave na embalagem original e nunca volte a usar para alimentos um utensílio que tenha tido soda. Manuseie o sabão fresco com luvas nos primeiros dias.

História e evolução

Antes de o sabão ser corrente, esmagava-se a saponária em água para obter uma espuma suave com que se lavavam a lã e o linho.

Os produtos de limpeza parecidos com o sabão são antigos, mas as primeiras provas são escassas. Citam-se muitas vezes fontes babilónicas de cerca de 2800 a.C. como a primeira referência, e relatos posteriores descrevem receitas mesopotâmicas do III milénio a.C. que aqueciam óleo com cinza de lenha para lavar a lã, embora as tabuinhas raramente sejam identificadas. O papiro egípcio Ebers, por volta de 1550 a.C., receita gorduras animais ou óleos vegetais misturados com um sal alcalino como remédio.

Os autores romanos viam o sabão como um produto estrangeiro. Plínio, o Velho, no século I d.C., atribuiu-o aos gauleses, que o faziam com sebo e cinza e o usavam para tingir o cabelo; é na sua obra que a palavra latina sapo aparece pela primeira vez. Um século depois, o médico Galeno descreveu o sabão de barrela e aconselhou a lavagem com ele.

Os sabões duros de azeite vieram do Mediterrâneo oriental. O médico persa al-Razi registou receitas de sabão por volta de 900, e no século XIII a saboaria era um grande comércio nas cidades da Síria e da Palestina. Na Europa, as oficinas de Castela e de Marselha produziam sabão de azeite em grandes quantidades no século XV, enquanto os saboeiros do norte ferviam sebo com barrela de cinza.

O sabão de Alepo, de azeite e óleo de loureiro, é cortado em cubos e empilhado em torres arejadas para curar durante meses.

O sabão só ficou barato quando o seu álcali ficou barato. Em 1791, Nicolas Leblanc patenteou um processo que tirava soda do sal, do ácido sulfúrico, do carvão e do calcário, e os saboeiros deixaram de depender das cinzas vegetais. Em 1823, Michel-Eugène Chevreul mostrou que as gorduras são compostos de glicerina e ácidos gordos, o que explicava o que acontece no caldeiro. Fábricas como a da Lever Brothers, fundada em 1885 em Warrington, venderam sabão em barras embrulhadas e com marca. A higiene veio devagar: em 1847, Ignaz Semmelweis obrigou o pessoal da sua maternidade de Viena a desinfetar as mãos com cloreto de cal, e a mortalidade por febre puerperal caiu ali de cerca de 18 % para cerca de 1 % no ano seguinte.

Números-chave

Primeira referência a um material parecido com sabão
Babilónia, cerca de 2800 a.C.

A reação
Gordura + álcali → sabão + glicerina (saponificação)

Química explicada
Michel-Eugène Chevreul, 1823

Soda a partir do sal comum
Processo de Nicolas Leblanc, 1791

Fontes

1. Why soap works · Yale School of Medicine https://medicine.yale.edu/news-article/why-soap-works
2. Soap making (Dallas Bogan, History of Campbell County, Tennessee) · TNGenWeb https://www.tngenweb.org/campbell/hist-bogan/SoapMaking.html
3. Nicolas Leblanc (1742-1806) · European Route of Industrial Heritage https://www.erih.net/how-it-started/stories-about-people-biographies/biography/leblanc
4. Chevreul et la chimie des corps gras · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/chevreul-et-la-chimie-des-corps-gras/
5. Lever Brothers Limited · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp42536
6. Pioneering hand hygiene: Ignaz Semmelweis and the fight against puerperal fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
7. Codex Standard for Named Animal Fats (CODEX-STAN 211-1999) · FAO/WHO Codex Alimentarius https://www.fao.org/4/y2774e/y2774e05.htm
8. Saponification value of fats and oils as determined from 1H-NMR data: the case of dairy fats (Foods, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9140812/
9. Soap · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Soap

Factos verificados em 2026-10-12

Numeração posicional

Algarismos que valem pela sua posição

c. 2.050 a.C. · Antiguidade · Fixação

Requer: Escrita (p. 85)

Conduz a: Navegação astronómica (p. 210), Computador (p. 365), Termómetro e barómetro (p. 222)

1 Tabuleiro de contar: uma linha por cada potência de dez 2 Seixo usado como contador
3 Tábua de argila: mil como 16 sessentenas e 40, em base sessenta 4 Pontos e barras maias: 2 e 10, em base vinte
5 Concha do zero maia 6 Mil em algarismos indianos, os que usamos

Numa numeração posicional bastam poucos algarismos para escrever qualquer número, porque o valor de cada um depende do lugar que ocupa. Com um zero a marcar o lugar vazio, somas, multiplicações e divisões fazem-se por escrito, coluna a coluna, sem tabuleiro de contar.

O que é

Em 707, o primeiro sete conta centenas e o último conta unidades. Toda a numeração posicional está aqui: um pequeno conjunto de sinais cujo valor depende do sítio onde estão. Com os dez algarismos de 0 a 9 escreve-se qualquer número inteiro, por maior que seja, sem nunca precisar de um sinal novo.

Os sistemas mais antigos somavam os seus sinais. Os escribas egípcios tinham um sinal para as unidades, outro para as dezenas, outro para as centenas, e repetiam cada um as vezes necessárias. Em numerais romanos, 1888

escreve-se MDCCCLXXXVIII, treze sinais. Servem para registar um total, mas calcula-se mal com eles. Por isso os contabilistas romanos e medievais trabalhavam num tabuleiro de contar e só escreviam o resultado.

A numeração posicional transforma o número escrito num tabuleiro de contar no papel, de modo que o próprio cálculo pode ser escrito e verificado. Quem o torna possível é o zero, que primeiro marcou um lugar vazio e depois passou a ser um número de pleno direito.

Como funciona

A base é a quantidade de algarismos diferentes, e cada lugar vale essa quantidade de vezes o lugar à sua direita. Em base dez, 2748 significa 2 milhares, 7 centenas, 4 dezenas e 8 unidades. Em 1081, o zero diz que não há centenas; sem ele, 1081 e 181 confundir-se-iam.

Um número babilónico era impresso na argila húmida, uma cunha de cada vez.

As outras bases seguem a mesma regra. Os escribas babilónicos contavam de sessenta em sessenta com duas marcas: a cunha vertical para o um e a cunha em ângulo para o dez. Mil são 16 sessentenas e 40: escrevia-se 16 e depois 40. Os maias contavam de vinte em vinte, com um ponto para o um, uma barra para o cinco e uma concha para o zero, e empilhavam os lugares de baixo para cima. Mil são duas vezes quatrocentos, dez vintenas e nenhuma unidade: dois pontos sobre duas barras sobre uma concha. Nas datas do calendário, o terceiro lugar contava 360 dias em vez de 400. Os computadores trabalham em base dois, em que 13 se escreve 1101: um oito, um quatro, nenhum dois e uma unidade.

Quando uma coluna chega a dez ou mais, escrevem-se as suas unidades e as dezenas passam para a coluna seguinte; quando não chega, pede-se um emprestado à esquerda. Deslocar um número um lugar para a esquerda multiplica-o por dez, pelo que 47 × 23 é 47 × 3 mais 47 × 20: 141 + 940 = 1081. A tabuada até 9 × 9 basta para multiplicar dois números quaisquer. A divisão longa avança da esquerda, um lugar de cada vez: procura-se um algarismo do quociente, multiplica-se, subtrai-se e baixa-se o algarismo seguinte.

Como construir

É preciso uma tábua lisa ou um pedaço de areia alisada, giz ou um pau, uns quarenta seixos, papel e um lápis.

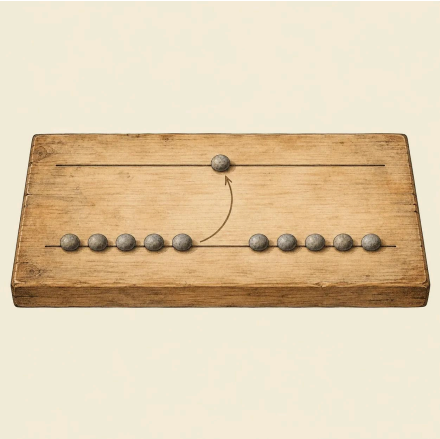
Traçar o tabuleiro. Trace quatro linhas paralelas afastadas um palmo: de baixo para cima, unidades, dezenas, centenas e milhares. Feitos todos os transportes, nenhuma linha fica com mais de nove seixos.

Dispor um número. Para 2748, ponha 2 seixos na linha dos milhares, 7 na das centenas, 4 na das dezenas e 8 na das unidades. Uma linha vazia é um zero.

Somar com transporte. Some 1375 pondo 1, 3, 7 e 5 seixos nas mesmas linhas. A linha das unidades tem agora 13: tire dez, ponha um na das dezenas e ficam 3. A das dezenas tem então 12; volte a transportar e faça o mesmo com as centenas. O tabuleiro mostra 4123.

Multiplicar. Esvazie o tabuleiro. Para 47 × 23, disponha 47 três vezes, fazendo os transportes pelo caminho: 141. Disponha depois mais duas vezes 47, mas cada seixo uma linha acima do habitual, o que acrescenta 940. Transporte e leia 1081.

Passar ao papel. Faça as mesmas contas em colunas, com o algarismo transportado escrito em pequeno por cima da coluna seguinte. Cada coluna é uma linha do tabuleiro, cada algarismo um número de seixos, cada 0 uma



O transporte no tabuleiro: dez contadores de uma linha trocam-se por um só na linha de cima.

linha vazia.

Mudar de base. Para escrever 4000 segundos em base sessenta, divida por 60: 66, resto 40. Divida 66 por 60: 1, resto 6. Leia o último quociente e depois os restos de trás para a frente: 1, 6 e 40, ou seja, 1 hora, 6 minutos e 40 segundos.

> **Segurança.** Seixos pequenos podem causar asfixia em crianças pequenas. Escolha pedras demasiado grandes para serem engolidas ou guarde o tabuleiro fora do seu alcance.

História e evolução

O uso mais antigo datado com certeza é uma tábua de rascunho de Ur, de 2043 a.C., que soma pesos em base sessenta. Por volta de 1800 a.C., as tábuas escolares babilónicas usam-no correntemente. Não havia zero nem sinal que separasse os inteiros das frações, e o leitor deduzia a ordem de grandeza pelo contexto. A partir de cerca de 700 a.C., alguns escribas põem um sinal num lugar vazio no meio de um número, nunca no fim. Os astrónomos gregos conservaram a base sessenta para as frações, e é por isso que a hora e o grau ainda têm sessenta minutos.

Os maias chegaram sozinhos ao valor posicional e ao zero. As datas em Conta Longa surgem no sul do México a partir do século I a.C., e estelas de Uaxactún datadas de 357 escrevem os lugares vazios com um sinal do zero.

Os nossos algarismos vêm da Índia. Em 628, Brahmagupta definiu o zero como um número menos ele próprio e deu regras para calcular com ele, embora a sua regra de que zero a dividir por zero dá zero esteja errada. O manuscrito de Bakhshali, encontrado perto de Peshawar em 1881, escreve o zero com um ponto; três das suas folhas, datadas por radiocarbono em 2017, vão do século III ao X, e a data do texto é discutida. O zero datado mais antigo e indiscutido da Índia está em Gwalior, em 876.

No fim da Idade Média, na Europa ainda se contava muitas vezes com contadores de latão sobre um pano riscado.

Na Bagdade do século IX, al-Khwarizmi escreveu um livro sobre o cálculo indiano, conservado apenas em latim; do seu nome vem a palavra algoritmo. Fibonacci aprendeu os algarismos no Norte de África e ensinou-os no seu Liber abaci de 1202. Em 1299, a corporação dos cambistas de Florença proibiu-os nos seus livros de contas, e os tabuleiros de contar continuaram em uso no norte da Europa até ao século XVI.

Números-chave

Valor posicional em base sessenta

Primeiro uso datado com certeza em Ur, 2043 a.C.; corrente nas escolas babilónicas por volta de 1800 a.C.

O zero tratado como número

Brahmagupta, Brāhmasphuṭasiddhānta, 628 d.C.

Zero datado mais antigo e indiscutido da Índia

Inscrição de Gwalior, 876, nos números 270 e 50

Zero maia

Sinais do zero em estelas de Uaxactún datadas de 357

Liber abaci

Fibonacci, Pisa, 1202

Fontes

1. Bases, positions and computations (Chemla, 2025) · Philosophical Transactions of the Royal Society B https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12536272/
2. On the Alleged Counting with Sexagesimal Place Value Numbers in Mathematical Cuneiform Texts from the Third Millennium B.C. (Friberg, 2005) · Cuneiform Digital Library Journal https://cdli.earth/articles/cdlj/2005-2
3. A history of Zero · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Zero/
4. Babylonian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Babylonian_numerals/
5. Indian numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Indian_numerals/
6. Brahmagupta · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Brahmagupta/
7. Carbon dating finds Bakhshali manuscript contains oldest recorded origins of the symbol 'zero' · Gardens, Libraries and Museums, University of Oxford https://www.glam.ox.ac.uk/node/218481
8. The Bakhshālī Manuscript: A Response to the Bodleian Library's Radiocarbon Dating (Plofker, Keller, Hayashi, Montelle, Wujastyk, 2017) · History of Science in South Asia https://journals.library.ualberta.ca/hssa/index.php/hssa/article/view/22
9. The use of Zero as a placeholder by the Maya (J. G. Atkinson) · Mexicolore https://www.mexicolore.co.uk/maya/home/the-maya-and-zero/1000
10. The Calendar Inscriptions · Archaeology Magazine, Archaeological Institute of America https://archaeology.org/issues/november-december-2012/collection/calendar-inscriptions/
11. Arabic numerals · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/HistTopics/Arabic_numerals/
12. Fibonacci · MacTutor History of Mathematics, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Fibonacci/
13. The mathematician Fibonacci, or how the number 7 came to Europe · Swiss National Museum https://blog.nationalmuseum.ch/en/2020/03/the-mathematician-fibonacci-or-how-the-number-7-came-to-europe/

Factos verificados em 2026-10-14

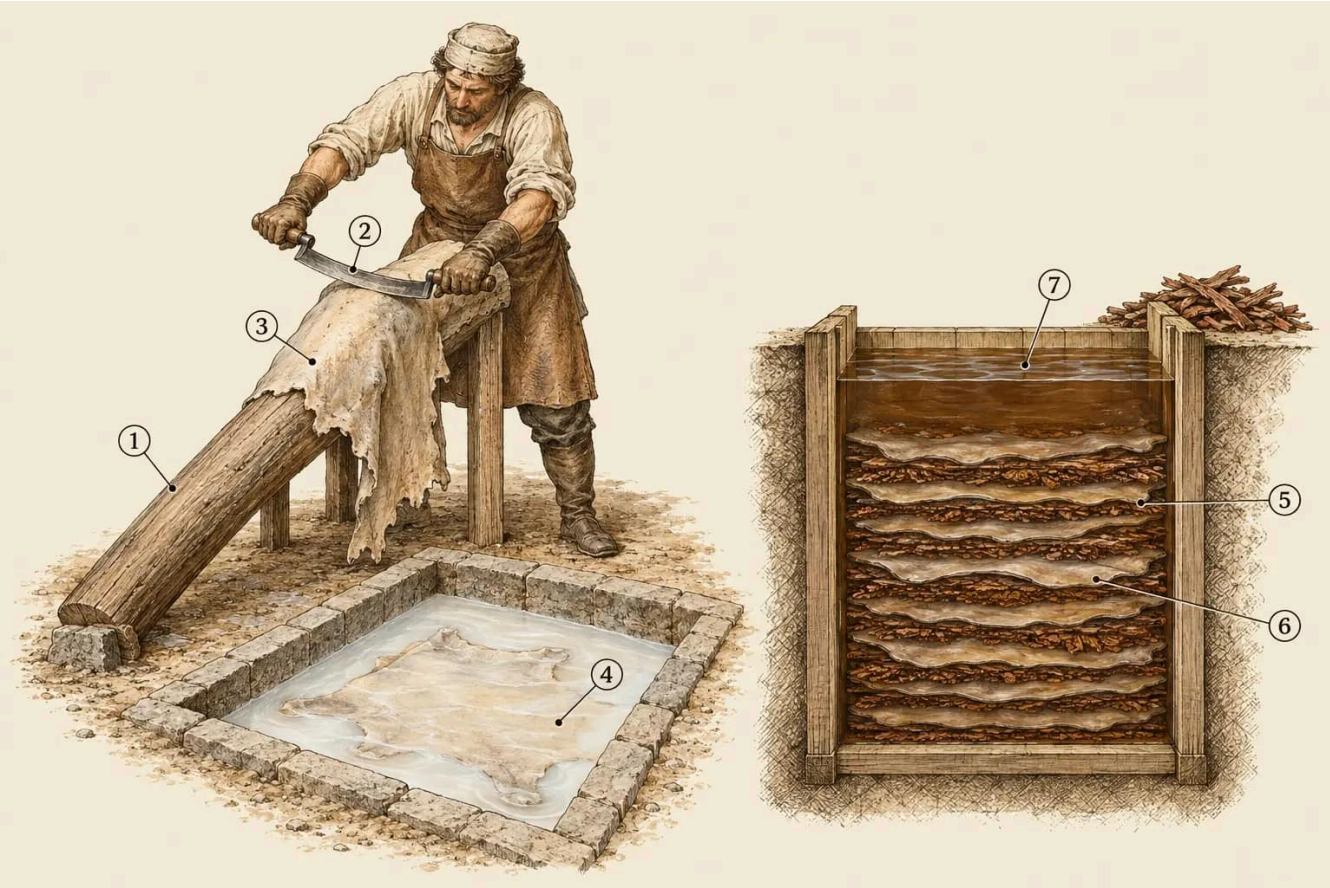
Curtimento do couro

Peles, casca de carvalho e meses no tanque

c. 1.500 a.C. · Antiguidade · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5), Domínio do fogo (p. 9)

Conduz a: Coelheira (p. 177), Bomba de pistão (p. 161)



1 Cavalete do curtidor 2 Faca de dois cabos 3 Pele a ser depilada e descarnada 4 Caleiro 5 Camada de casca de carvalho moída 6 Pele deitada no tanque 7 Licor tânico

O curtimento transforma uma pele crua, que apodrece depressa quando molhada e seca dura como madeira, num couro maleável que resiste muito melhor à decomposição. No método em tanque, a pele é limpa de pelo e carne e depois fica meses em água com casca de carvalho moída, cujos taninos se fixam às fibras.

O que é

Uma pele fresca é sobretudo água e colagénio, uma proteína tecida numa trama densa de fibras. Com calor, começa a apodrecer em poucos dias. Se secar antes, torna-se pele crua, dura e córnea, que amolece na água e apodrece se continuar molhada.

O couro é uma pele cujas fibras foram alteradas para resistir a ambas as coisas. Pode molhar-se e secar com muito menos risco de apodrecer ou endurecer, corta-se, cose-se e molda-se, e guardado em seco dura séculos. Fazia-se com ele calçado, arreios, baldes e foles. Os caçadores amaciavam as peles com gordura e fumo, mais tarde usou-

se o alúmen, e hoje quase todo o couro é curtido com sais de crómio. Esta prancha segue o método que serviu na Europa e no Mediterrâneo durante uns dois mil anos: o curtimento vegetal com casca, em tanques.

Couro em corte, ampliado: a flor lisa em cima, o emaranhado de fibras de colagénio por baixo. Ao lado, pele crua com o pelo.

Como funciona

Muitas plantas acumulam taninos, compostos amargos que as protegem de insetos e fungos. A casca de carvalho é rica neles, tal como a madeira de castanheiro, as folhas de sumagre, as galhas do carvalho e as vagens de acácia. A casca moída de molho em água dá um líquido castanho a que os curtidores chamavam licor tânico.

Nesse licor, as moléculas de tanino infiltram-se entre as fibras de colagénio de uma pele limpa e prendem-se a elas em muitos pontos. Assim revestidas, as fibras deixam de colar umas às outras ao secar e as bactérias degradam-nas muito mais devagar. A pele torna-se um couro firme e castanho.

O tanino entra pela superfície. Um licor forte logo de início fecharia as camadas exteriores e deixaria o miolo cru. Por isso as peles começavam num licor fraco, já usado, e passavam para licores mais fortes ao longo de semanas e meses.

Antes, é preciso abrir a pele. A água de cal ou uma lixívia de cinza de madeira faz a pele inchar, solta as raízes do pelo e retira parte da gordura e das proteínas moles. Depois raspam-se o pelo e a camada superficial e limpa-se o lado da carne, para o tanino entrar pelas duas faces.

Como se constrói

Eis, em linhas gerais, o método tradicional com casca dos curtumes, aplicado a uma única pele de vaca; não é uma receita testada. Conte com quase um ano. Precisa da pele de um animal saudável e de origem conhecida, de tinas ou barris estanques, cal apagada ou cinza de madeira, muita casca de carvalho seca, um cavalete de madeira e uma faca romba de dois cabos.

Demolhar e caleirar. Deixe uma pele salgada em água limpa um ou dois dias até ficar mole e depois ponha-a em água com cal apagada ou lixívia de cinza, mexendo todos os dias. A pele está pronta quando o pelo se solta com o polegar.

Depilar e descarnar. Estenda a pele sobre o cavalete inclinado, com o pelo para cima, e empurre a faca romba para longe de si para arrancar o pelo. Vire-a e raspe o lado da carne até tirar gordura e membranas. Lave a cal em várias águas, porque a cal que fica na pele estraga o curtimento; o licor fraco e ligeiramente ácido da etapa seguinte leva o resto.

Preparar a casca. Descasque carvalhos abatidos na primavera, seque a casca, moa-a e deixe-a de molho vários dias.

A casca de carvalho tira-se na primavera, quando a seiva a solta da madeira.

Curtir no tanque. Ponha primeiro a pele num licor fraco e mexa-a todos os dias durante algumas semanas. Depois deite-a estendida ou dobrada numa tina, entre duas camadas de casca moída, e cubra-a com licor mais forte. Os curtumes empilhavam assim muitas peles no mesmo tanque. Renove casca e licor de poucos em poucos meses. Na J & F J Baker, no Devon, último curtume tradicional de casca de carvalho da Grã-Bretanha, as peles passam três meses no licor e mais nove empilhadas com casca. Para verificar, corte uma lasca da parte mais grossa: o couro está curtido quando o castanho atravessou toda a espessura, sem faixa clara no meio.

Secar e engordurar. Enxague, deixe secar devagar à sombra e faça penetrar óleo ou sebo enquanto o couro ainda está húmido.

> **Segurança.** A cal e a lixívia de cinza são cáusticas e podem queimar a pele e os olhos. Use luvas impermeáveis, óculos de proteção e botas, e prefira cal apagada a cal viva, que aquece violentamente em contacto com a água. Lave logo com muita água um salpico na pele; se entrar cal num olho, lave-o sem parar com água limpa e procure ajuda médica imediata. As peles cruas podem trazer esporos de carbúnculo (antraz), que entram pelos cortes ou se respiram com o pó e causam doença grave; não se vê a olho nu se uma pele está contaminada. Use apenas peles de animais inspecionados e de origem conhecida, nunca de um animal encontrado morto, tape os cortes, não sacuda nem bata peles secas e lave as mãos e a roupa depois do trabalho. Se pensa ter sido exposto, ou se depois de trabalhar com peles surgir uma ferida, febre ou dificuldade em respirar, vá logo ao médico e diga que manuseia peles. Os banhos de cal e os licores tânicos poluem: guarde-os em tinas estanques, longe de poços, nascentes e ribeiros, e nunca despeje o licor usado no solo, em esgotos ou na água; leve-o a um ponto de recolha adequado.

História e evolução

As peles eram preparadas muito antes de serem curtidas. Em muitas regiões, os caçadores esfregavam miolos ou outras gorduras numa pele raspada e depois fumavam-na, para que pudesse molhar-se sem endurecer. Ötzi, que morreu nos Alpes por volta de 3300 a.C., vestia peles de cabra, ovelha, veado e vitelo, e um sapato da gruta de Areni-1, na Arménia, datado de 3627–3377 a.C., parece ser de couro de vaca. Não se sabe ao certo como foram tratados.

Muito antes dos tanques, as peles eram esticadas, raspadas, trabalhadas com gordura e fumadas.

Datar o curtimento vegetal é difícil: só a análise química revela como foi tratado um couro antigo, e os especialistas leem os resultados de maneira diferente. Carol van Driel-Murray nota que os couros da Idade do Bronze eram quase sempre tratados com gordura, óleo ou fumo. No entanto, a análise de couros egípcios do Metropolitan Museum, publicada em 2017, encontrou taninos vegetais em objetos do Império Médio ou Novo, entre cerca de 2000 e 1100 a.C. O botânico grego Teofrasto escreveu sobre plantas tanantes por volta de 300 a.C., e no noroeste da Europa o couro curtido chega com a conquista romana. Em Pompeia, um curtume com quinze cubas cilíndricas ainda trabalhava quando a erupção de 79 d.C. o soterrou.

O curtimento ao alúmen, que usa um sal mineral em vez de tanino, dava um couro claro e macio, apreciado para luvas, mas a água arrasta o alúmen e a pele pode voltar a secar dura. O curtimento em tanque pouco mudou até ao fim do século XIX, quando os sais de crómio reduziram o trabalho de meses para dias. O curtimento ao crómio é

um processo industrial com resíduos tóxicos, não um ofício caseiro. Ainda se faz couro curtido com casca para selas, cintos e solas.

Números-chave

Tempo nos tanques

Cerca de 12 meses num curtume inglês de casca de carvalho ainda ativo; de 11 a 18 meses, às vezes 2 anos, para os couros pesados de boi em 1810

Caleiro

Alguns dias para peles de boi e de vaca, duas a três semanas para as de vitelo (prática descrita em 1810)

Sapato de couro mais antigo encontrado

Gruta de Areni-1, Arménia, 3627–3377 a.C.; não se sabe como o couro foi tratado

Taninos vegetais mais antigos detetados em couro

Objetos egípcios do Império Médio ou Novo, cerca de 2000–1100 a.C. (análise publicada em 2017)

Curtume de Pompeia

15 cubas cilíndricas, em uso até à erupção de 79 d.C.

Fontes

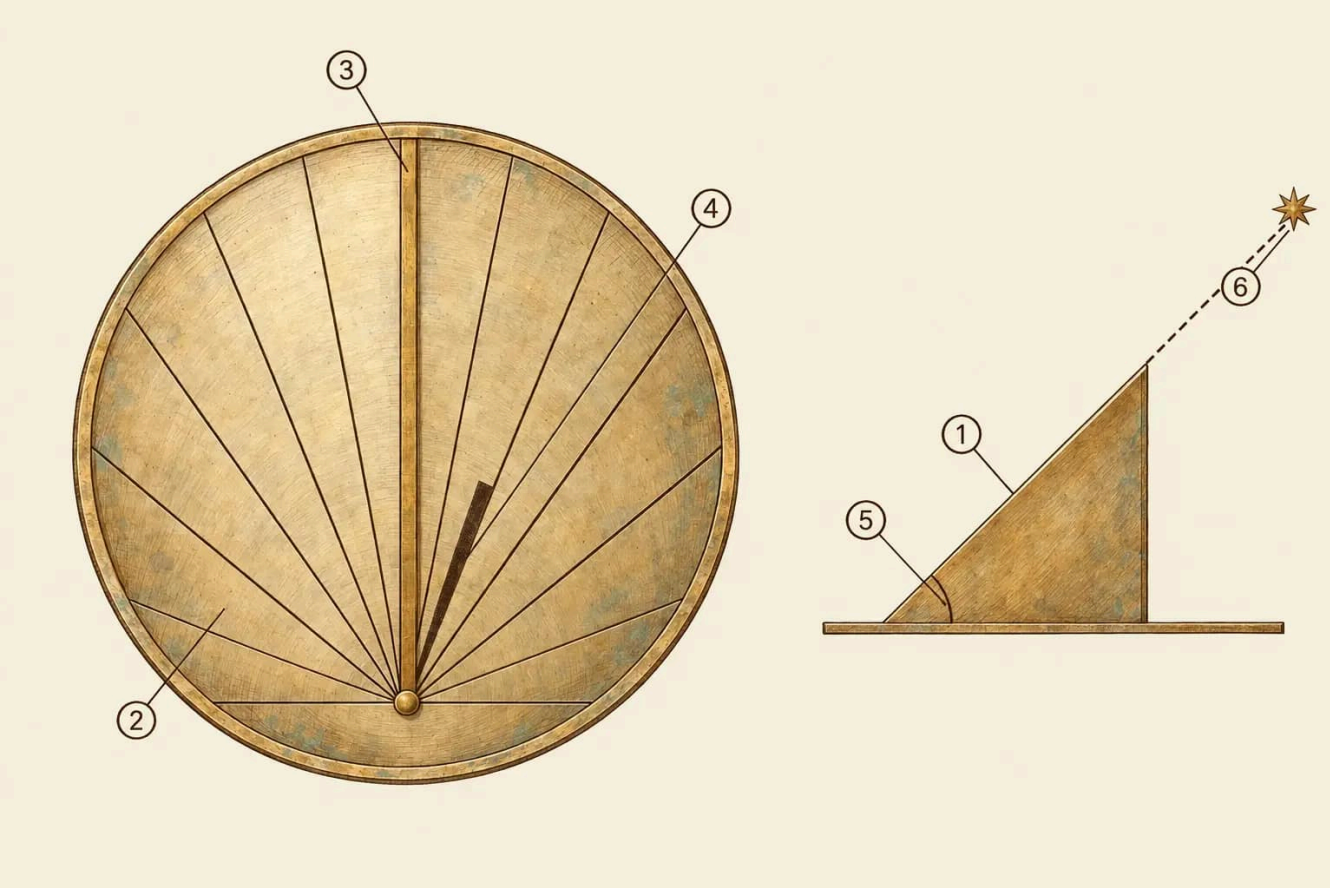
1. Tanning (Encyclopaedia Britannica, 4th edition, 1810) · Encyclopaedia Britannica, transcribed by Jim Clifford, University of Saskatchewan https://jimclifford.ca/early_encyclopedia_britannica/articles/1810/eb_4th_1810_020179.html
2. The Process · J & F J Baker & Co., oak bark tannery, Colyton https://www.jfjbaker.co.uk/the-process
3. Hide Products · Sean Manning, Book and Sword (after C. van Driel-Murray) https://www.bookandsword.com/?p=10459
4. First Direct Evidence of Chalcolithic Footwear from the Near Eastern Highlands (Pinhasi et al., 2010) · PLoS ONE https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0010984
5. Evidence of the use of vegetable tannins in leather tanning in the Middle Kingdom/New Kingdom of ancient Egypt (Elnaggar, 2017) · ICOM-CC Leather and Related Materials Working Group Newsletter https://www.icom-cc.org/dlfile.aspx?file=https://www.icom-cc.org/docs/content/ICOMCC-LRM-Newsletter-june-2017.pdf
6. The large tannery of Pompeii: from restoration to valorisation · Archaeological Park of Pompeii https://pompeiisites.org/en/comunicati/the-large-tannery-of-pompeii-from-restoration-to-valorisation-a-positive-example-of-public-and-private-sector-collaboration/
7. Skins & hides: introduction · Lowimpact.org https://www.lowimpact.org/categories/skins-hides
8. Leather terminology: tawing · Popov Leather https://popovleather.com/pages/leather-terminology-tawing
9. Anthrax: people at increased risk (animal products) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/anthrax/animal-products/products.html
10. Hydrated Lime, Safety Data Sheet CASDS06 · Cement Australia https://cementaustralia.com.au/sites/default/files/2025-02/CASDS06_Hydrated_Lime.pdf
11. Clothing of the Iceman · South Tyrol Museum of Archaeology https://www.iceman.it/en/clothing/

Factos verificados em 2026-10-13

Relógio de sol

Ler as horas numa sombra

c. 1.500 a.C. · Antiguidade · Fixação



1 Estilete (a aresta que projeta a sombra) 2 Mostrador 3 Linha do meio-dia 4 Sombra 5 Ângulo igual à latitude 6 Polo celeste

Um relógio de sol indica as horas pela sombra que o Sol projeta numa superfície marcada. Os exemplares mais antigos que se conservam vêm do Egito do século XV a.C., e até os relógios mecânicos se difundirem, no fim da Idade Média, foi o principal meio de dividir o dia.

O que é

Um relógio de sol é um instrumento que indica a hora pela posição de uma sombra. Uma haste ou uma lâmina, o gnómon, ergue-se sobre uma superfície traçada com linhas, e a sua sombra percorre-as à medida que o Sol atravessa o céu.

A prancha mostra um relógio horizontal de jardim calculado para 45° de latitude, visto de cima, com o gnómon visto de perfil. A aresta inclinada do gnómon, o estilete, aponta para o polo celeste, e é isso que torna as horas iguais em qualquer estação.

Como funciona

A Terra dá uma volta por dia em torno de um eixo que, no hemisfério norte, aponta quase exatamente para a Estrela Polar. Visto do chão, o Sol roda em torno desse mesmo eixo a um ritmo constante de 15° por hora. Um

estilete paralelo ao eixo fica, portanto, no centro do círculo que o Sol descreve todos os dias, e o plano que passa pelo estilete e pelo Sol roda ao mesmo ritmo regular em qualquer estação. Na prática, o estilete inclina-se para norte (para sul no hemisfério austral) segundo um ângulo igual à latitude: cerca de 38,7° em Lisboa e 41,1° no Porto.

Num relógio horizontal, esse plano em rotação corta uma placa plana: a sombra avança nela de forma desigual, pelo que as linhas horárias não ficam à mesma distância. O ângulo entre a linha do meio-dia e a linha de cada hora segue uma regra simples: a sua tangente é igual ao seno da latitude multiplicado pela tangente de 15° por cada hora de distância ao meio-dia. A 45°, as linhas de uma a seis horas depois do meio-dia ficam a cerca de 11°, 22°, 35°, 51°, 69° e 90°. Apertam-se em volta do meio-dia e afastam-se para as seis, em ângulo reto com a linha do meio-dia.

Um relógio de sol marca a hora solar local, que não coincide com a de um relógio de pulso. A hora legal segue o meridiano central do fuso horário, de modo que um relógio de sol atrasa 4 minutos por cada grau de longitude a oeste desse meridiano e adianta outro tanto por cada grau a leste. Portugal continental usa o meridiano de Greenwich, e Lisboa fica a 9,1° O, pelo que aí o relógio de sol marca cerca de 37 minutos menos. Como a órbita terrestre é uma elipse e o eixo da Terra é inclinado, o Sol também adianta ou atrasa até cerca de 16 minutos ao longo do ano: é a equação do tempo, muitas vezes gravada numa pequena tabela junto do mostrador. A hora de verão acrescenta mais uma hora.

Relógio de sombra egípcio: de manhã a travessa ficava virada a leste, e ao meio-dia o instrumento era rodado.

Como construir

São precisos uma placa plana de ardósia, pedra, madeira dura ou metal com cerca de 30 cm, um triângulo fino de latão ou alumínio para o gnómon, um transferidor, uma régua, um nível de bolha e uma calculadora. Os passos seguintes valem para o hemisfério norte; a sul do equador, o centro fica perto do bordo norte e o estilete sobe para sul.

Traçar as linhas horárias. Procure a sua latitude num mapa, com uma precisão de uma décima de grau. Marque o centro do relógio perto do bordo sul da placa e trace daí a linha do meio-dia até ao bordo oposto. Para cada hora, calcule o ângulo com a regra acima e trace a linha dos dois lados da linha do meio-dia: as horas da manhã a oeste, as da tarde a leste. Trace diretamente a 90° as linhas das seis, onde a regra deixa de funcionar: este relógio simples cobre as horas das seis às dezoito.

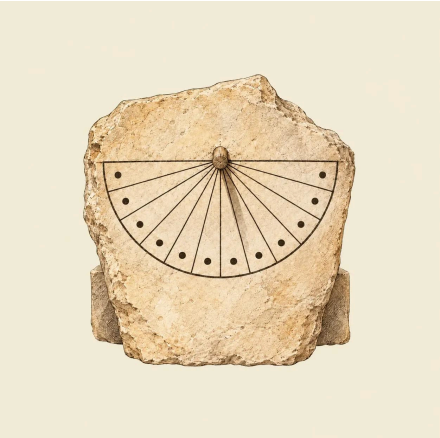
Cortar o gnómon. Corte um triângulo retângulo cujo ângulo agudo seja igual à sua latitude. Fixe-o na vertical sobre a linha do meio-dia, com o vértice agudo no centro do relógio, de modo que a aresta inclinada suba para norte. Se a lâmina tiver mais de dois ou três milímetros de espessura, afaste as duas metades do mostrador dessa distância: as linhas da manhã partem de uma face e as da tarde da outra.

Encontrar o norte geográfico. A bússola indica o norte magnético, que pode desviar-se vários graus. Num dia de sol, espete um pau vertical em chão plano, marque a ponta da sombra a meio da manhã e trace uma circunferência que passe por essa marca, centrada no pé do pau. À tarde, marque o ponto onde a ponta da sombra volta a tocar a circunferência. A reta que une as duas marcas vai de leste a oeste, ficando a marca da manhã a oeste. De pé sobre a marca da manhã, virado para a da tarde, tem o norte à esquerda. O resultado é aproximado, porque o percurso do Sol se desloca um pouco ao longo do dia; é mais exato perto dos solstícios.

Instalar o relógio. Pouse-o num suporte nivelado, com a linha do meio-dia na direção norte-sul e o gnómon a subir para norte.

> **Segurança.** Nunca olhe diretamente para o Sol, nem por um instante, e nunca através de binóculos ou de uma lente: a lesão nos olhos não dói e pode ser permanente. Lime as arestas de um gnómon metálico e coloque o relógio onde ninguém possa cair sobre a lâmina.

História e evolução



Relógio pintado numa lasca de calcário, encontrado em 2013 no Vale dos Reis e datado do século XIII a.C.

Os relógios de sol mais antigos que se conservam são relógios de sombra egípcios do reinado de Tutmés III (c. 1479 a 1425 a.C.). São réguas de pedra em forma de L: de manhã, a travessa erguida numa das pontas ficava virada a leste e projetava a sombra sobre marcas ao longo da régua; ao meio-dia, o instrumento era rodado para oeste. Em 2013, uma equipa da Universidade de Basileia encontrou outro tipo de relógio no chão de uma cabana de operários do Vale dos Reis: uma lasca plana de calcário pintada com um semicírculo negro dividido em doze setores e um furo central para uma cavilha.

A tradição grega atribui a Anaximandro de Mileto, por volta de 560 a.C., a introdução do gnómon na Grécia, a partir de práticas babilónicas. Gregos e romanos esculpiam relógios hemisféricos, taças de pedra cujas linhas dividiam o tempo de luz em doze partes. Eram horas desiguais: uma hora de verão durava mais do que uma de inverno. Plínio, o Velho, dá duas datas para o primeiro relógio de sol público de Roma, 293 e 263 a.C. O segundo foi trazido de Catânia, na Sicília, durante a Primeira Guerra Púnica. Traçado para a Sicília, em Roma marcava uma hora um pouco errada, e mesmo assim serviu 99 anos, até que em 164 a.C. se colocou ao lado dele outro mais exato.

No século VIII, o monge inglês Beda, o Venerável, incentivou os relógios que marcavam as horas da oração, e muitas igrejas medievais tinham um simples relógio gravado numa pedra da parede sul. Um estilete paralelo ao eixo da Terra dá horas iguais durante todo o ano. O astrónomo Ibn al-Shatir construiu um em 1371 para a Mesquita dos Omíadas, em Damasco, e os relógios de sol europeus aplicam o princípio pelo menos desde 1446. Os relógios mecânicos espalharam-se pela Europa a partir do século XIV, mas durante muito tempo foram imprecisos e acertavam-se pelos relógios de sol.

Um relógio de missa: uma cavilha no furo central projetava a sombra sobre as linhas.

Números-chave

Relógios de sol mais antigos conservados
Egito, reinado de Tutmés III (c. 1479 a 1425 a.C.)

Movimento aparente do Sol
15° por hora em torno do polo celeste

Inclinação do estilete
Igual à latitude do lugar (cerca de 38,7° em Lisboa)

Equação do tempo
O Sol adianta ou atrasa até cerca de 16 minutos ao longo do ano

Fontes

1. Ancient sundials · North American Sundial Society https://sundials.org/index.php/all-things-sundial/ancient-sundials?start=9
2. How sundials work · British Sundial Society https://sundialsoc.org.uk/all-about-sundials/how-sundials-work/
3. Pliny the Elder, Natural History, book 7 (7.212-215 on Rome's first sundials) · Attalus.org (translation) https://www.attalus.org/pliny/hn7c.html
4. Monumental Timekeepers (David Rooney) · Lapham's Quarterly https://www.laphamsquarterly.org/node/11636
5. Sundial · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sundial
6. History of sundials · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_sundials
7. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF
8. The Sundial Primer: Horizontal Sundial (Carl Sabanski) · The Sundial Primer https://mysundial.ca/tsp/horizontal_sundial.html

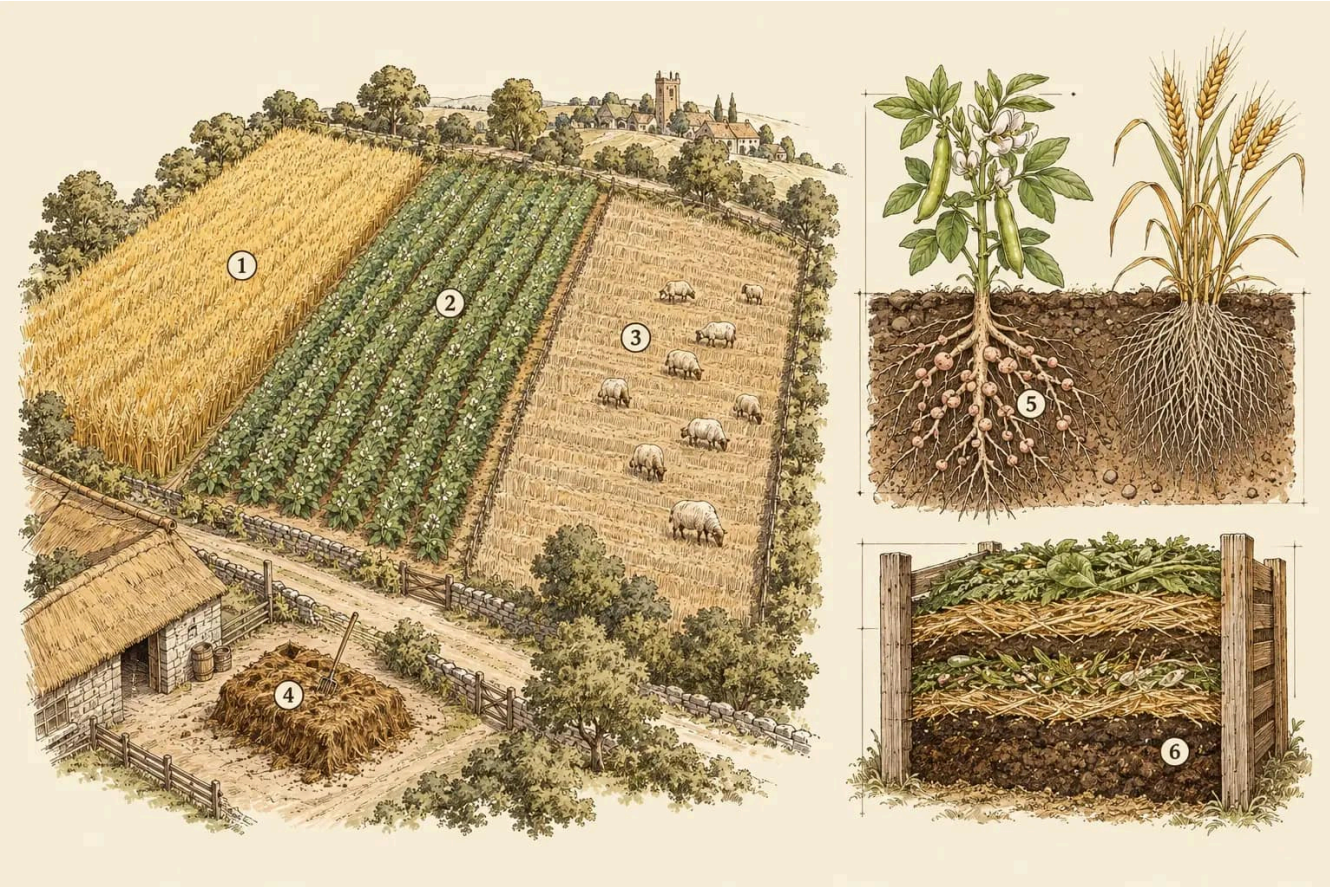
Factos verificados em 2026-10-12

Rotação de culturas

Manter a terra fértil ano após ano

c. 700 a.C. · Antiguidade · Fixação

Requer: Arado (p. 61)



1 Trigo de inverno 2 Favas e ervilhas 3 Pousio pastado por ovelhas 4 Monte de estrume 5 Nódulos na raiz de uma fava 6 Camadas de uma pilha de composto

A rotação de culturas muda de um ano para o outro o que cresce num campo e recorre ao pousio, ao estrume e às leguminosas para devolver à terra o que as colheitas lhe tiram. Mantém o solo fértil e deixa sem alimento as pragas de cada cultura; na Europa, passou-se de um ano de descanso em cada dois para rotações sem qualquer pousio.

O que é

Semeado todos os anos com a mesma planta, um campo tende a render menos se não lhe devolverem os nutrientes. As raízes tiram os mesmos nutrientes do mesmo solo, e as pragas dessa cultura encontram o hospedeiro à espera em cada primavera. A rotação de culturas muda o que cresce em cada parcela de ano para ano, segundo um ciclo planeado.

Anda a par com o pousio, uma estação sem cultura; com o estrume e o composto, que devolvem ao solo dejetos e restos vegetais; e com as leguminosas, como a fava, a ervilha ou o trevo, que trazem azoto tirado do ar. A prancha

mostra uma quinta com três folhas de cultivo e a sua estrumeira. À direita, a raiz de uma fava aparece ao lado da de um trigo, por cima de uma pilha de composto aberta.

Como funciona

Além de água e ar, as plantas precisam de nutrientes minerais do solo, três deles em grande quantidade. O azoto forma as proteínas e as folhas; um cereal que não o tem amarelece. O fósforo serve as raízes e as sementes. O potássio retém a água nas células e mantém os caules direitos. Cada saco de grão que sai da quinta leva uma parte dos três.

O azoto é o primeiro a faltar, embora o ar seja em cerca de quatro quintos azoto gasoso: as plantas não conseguem usar esse gás. As leguminosas conseguem, com a ajuda de bactérias do solo, os rizóbios. Estas instalam-se em pequenas saliências das raízes, os nódulos, e transformam o azoto do ar em amoníaco; a planta faz proteínas com ele e, em troca, alimenta as bactérias com açúcares. Quando raízes e caules apodrecem, ou quando a cultura é enterrada verde, boa parte desse azoto passa para a cultura seguinte. Um trevo violeta ou branco bem instalado pode fixar cerca de 85 a 225 kg de azoto por hectare por ano; uma cultura curta ou fraca, muito menos.

Nódulos numa raiz de ervilha. Um nódulo ativo é rosado ou vermelho por dentro.

O fósforo e o potássio não vêm do ar; voltam com o estrume, o composto, a urina e as cinzas.

Mudar de cultura trava também as doenças e pragas próprias de uma só família de plantas: sem hospedeiro durante alguns anos, a maioria recua. Algumas duram muito mais. Os esporos da hérnia das crucíferas, que ataca couves e nabos, podem ficar no solo até 20 anos, e a podridão-branca da cebola pelo menos 15, por isso num solo infetado é melhor deixar de cultivar os seus hospedeiros. O pousio não traz azoto, mas permite lavrar as ervas daninhas e serve de pasto.

Como se faz

Ferramentas: uma pá ou um arado, uma forquilha e tábuas para uma caixa.

Dividir o terreno. Marcar quatro parcelas do mesmo tamanho e repartir as culturas por quatro grupos, com as plantas aparentadas juntas: leguminosas (ervilhas, favas, feijões); couves, couve-galega, nabos e rabanetes; batatas e tomates; cebolas e raízes (alho-francês, cenouras, beterrabas, pastinacas).

Avançar cada grupo uma parcela por ano. Uma ordem habitual: leguminosas, couves, batatas, depois cebolas e raízes. As couves seguem as leguminosas para aproveitar o azoto que deixam no solo.

Semear adubo verde na terra nua. Depois de uma colheita precoce, semear um adubo verde e enterrá-lo ainda tenro, algumas semanas antes da cultura seguinte. O trevo, a ervilhaca e a fava forrageira são leguminosas: semeiam-se onde virão as couves, não onde estão previstas ervilhas e favas.

Montar a pilha de composto. Em terra nua, à meia-sombra, armar uma caixa com cerca de um metro de lado. Alternar camadas de uns 15 cm de material verde e tenro (relva, restos de legumes, estrume fresco de herbívoros) e de material castanho e seco (palha, folhas secas, cartão), com pelo menos tanto castanho como verde. Juntar de vez em quando um pouco de terra e manter a pilha húmida como uma esponja espremida.

Uma pilha que trabalha bem fumega numa manhã fria.

Revolver e vigiar o calor. Espetar um termómetro comprido no centro. Uma pilha que se mantém vários dias a 55 °C ou mais mata muitos germes e sementes de ervas daninhas, mas só o centro aquece tanto: sempre que arrefecer, passar com a forquilha a parte de fora para o meio e deixar a pilha voltar a aquecer. O composto está pronto quando está escuro, granuloso e cheira a terra de bosque, ao fim de alguns meses a mais de um ano.

Usar o estrume com cuidado. Espalhar o estrume de vaca, cavalo, ovelha, cabra ou aves no outono e enterrá-lo, nunca sobre plantas em crescimento.

> **Segurança.** O estrume fresco traz germes como *E. coli* e salmonelas. Um estrume que parece bem curtido, e o composto caseiro que o contém, ainda os podem ter, porque uma pilha caseira nunca aquece por igual: devem ser ambos tratados como estrume fresco. Espalhá-los pelo menos 120 dias antes de colher as plantas cuja parte comestível toca o solo ou pode receber salpicos de terra com a chuva ou a rega, como alface, cenoura ou morango, e pelo menos 90 dias antes das outras colheitas. Nunca pôr fezes de cão, gato, porco ou humanas numa horta nem no seu composto. Lavar as mãos com sabão depois de mexer em estrume ou composto e antes de tocar nos alimentos, e lavar os legumes com água potável. Grávidas, crianças pequenas, idosos e pessoas imunodeprimidas não devem comer crus os legumes de um solo estrumado.

História e evolução

Os isótopos de azoto de grãos carbonizados de 13 sítios neolíticos, da Grécia à Grã-Bretanha, mostram que os agricultores já estrumavam as culturas por volta de 6000 a.C.

O conselho de Hesíodo sobre o pousio, por volta de 700 a.C., é um dos textos mais antigos que chegaram até nós sobre o tema e dá a data a esta prancha. Varrão, em 37 a.C., descreve tremoços ou favas semeados em solo pobre e enterrados quando começam a formar vagens, em vez do estrume. Um século depois, Columela considera o tremoço enterrado tão bom como o melhor estrume, mas duvida que as favas colhidas pelo grão enriqueçam a terra.

Na China, o Qimin Yaoshu, um manual agrícola concluído por volta de 544 d.C. por Jia Sixie, manda mudar todos os anos a cultura dos campos de milho-painço e aponta o feijão-mungo e o feijão-azuki como as melhores culturas a fazer antes dele.

Entre o Loire e o Reno, muitos domínios francos passaram, no fim do século VIII e no IX, de duas folhas, com metade da terra a descansar cada ano, para três: cereal de inverno, depois aveia, cevada, ervilhas e favas semeadas na primavera, e depois pousio. A sementeira de primavera precisa de chuvas de verão, por isso o sistema ficou a norte dos Alpes.

Mais tarde, as culturas forrageiras substituíram o pousio. A rotação quadrienal de Norfolk, do século XVIII, associada a Charles Townshend, alternava trigo, nabos, cevada e trevo. O historiador económico Robert Allen atribui às plantas fixadoras de azoto cerca de metade da subida dos rendimentos de cereais ingleses entre a Idade Média e a Revolução Industrial.

Em 1838, Jean-Baptiste Boussingault verificou que o trevo e a ervilha ganhavam azoto num solo sem matéria orgânica, ao contrário do trigo e da aveia. Em 1886, Hermann Hellriegel e Hermann Wilfarth ligaram esse ganho

aos nódulos e aos seus micróbios, e em 1888 Martinus Beijerinck isolou a bactéria.

Fechadas sobre os nabos, as ovelhas comem a colheita onde ela cresce e estrumam a terra para a cevada que se segue.

Números-chave

Vestígios antigos de estrumação
Europa neolítica, desde cerca de 6000 a.C. (isótopos de azoto nos cereais)

Rotação trienal
Reino franco, fim do século VIII e século IX; o pousio desce de metade para um terço da terra

Papel das bactérias dos nódulos
Hellriegel e Wilfarth, 1886; publicado em 1888

Conselho escrito antigo sobre o pousio
Hesíodo, Grécia, por volta de 700 a.C.

Azoto fixado por um trevo bem instalado
Cerca de 85 a 225 kg por hectare por ano

Fontes

1. Hesiod, Works and Days, lines 458–464 (trans. H. G. Evelyn-White) · Theoi Classical Texts Library https://www.theoi.com/Text/HesiodWorksDays.html
2. Varro, On Agriculture, Book I (trans. W. D. Hooper and H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Varro/de_Re_Rustica/1*.html
3. Columella, On Agriculture, Book II (trans. H. B. Ash) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Columella/de_Re_Rustica/2*.html
4. Manure used by Europe's first farmers 8,000 years ago (Bogaard et al., PNAS 2013) · University of Oxford via ScienceDaily https://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130716134740.htm
5. Millet: Original Chinese Staple (on the Qimin Yaoshu) · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2026-05/25/content_522073.html
6. Agricultural technique, in A. Verhulst, The Carolingian Economy · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/carolingian-economy/agricultural-technique/BA332C43E77E49855C580F1276F12809
7. Lynn White Jr., Technology in the Middle Ages (Technology in Western Civilization, vol. 1, 1967, excerpt) · Manchester University (course reading) https://users.manchester.edu/FacStaff/SSNaragon/Kant/LP/Readings/White,%20Plow.html
8. Norfolk four-course system · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Norfolk_four-course_system
9. The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis (R. C. Allen, 2008) · Journal of Economic History, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-economic-history/article/nitrogen-hypothesis-and-the-english-agricultural-revolution-a-biological-analysis/7B2406F0F800AA11E4843EDB58D558C6
10. Utilisation biologique de l'azote de l'air : repères chronologiques · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/utilisation-biologique-de-l-azote-de-l-air-reperes-chronologiques/
11. Prof. Dr. Hermann Hellriegel · Anhalt University of Applied Sciences https://www.hs-anhalt.de/en/life/bernburg/campus/history/prof-dr-herrmann-hellriegel.html
12. Is Nitrogen Fixation Oversold with Legume Cover Crops? · University of Nebraska–Lincoln, CropWatch https://cropwatch.unl.edu/2016/nitrogen-fixation-oversold-legume-cover-crops
13. Crop rotation · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/vegetables/crop-rotation
14. Club root · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/club-root
15. Onion white rot · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/disease/onion-white-rot
16. Aged manure is not composted manure · University of Minnesota Extension https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2022/02/aged-manure-is-not-composted-manure.html
17. Composting · Royal Horticultural Society https://www.rhs.org.uk/soil-composts-mulches/composting
18. Composting Manure and Other Organic Materials (NebGuide G1315) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1315/na/pdf/view
19. Guidelines for Using Manure on Vegetable Gardens (Bulletin 2510) · University of Maine Cooperative Extension https://extension.umaine.edu/publications/2510e/

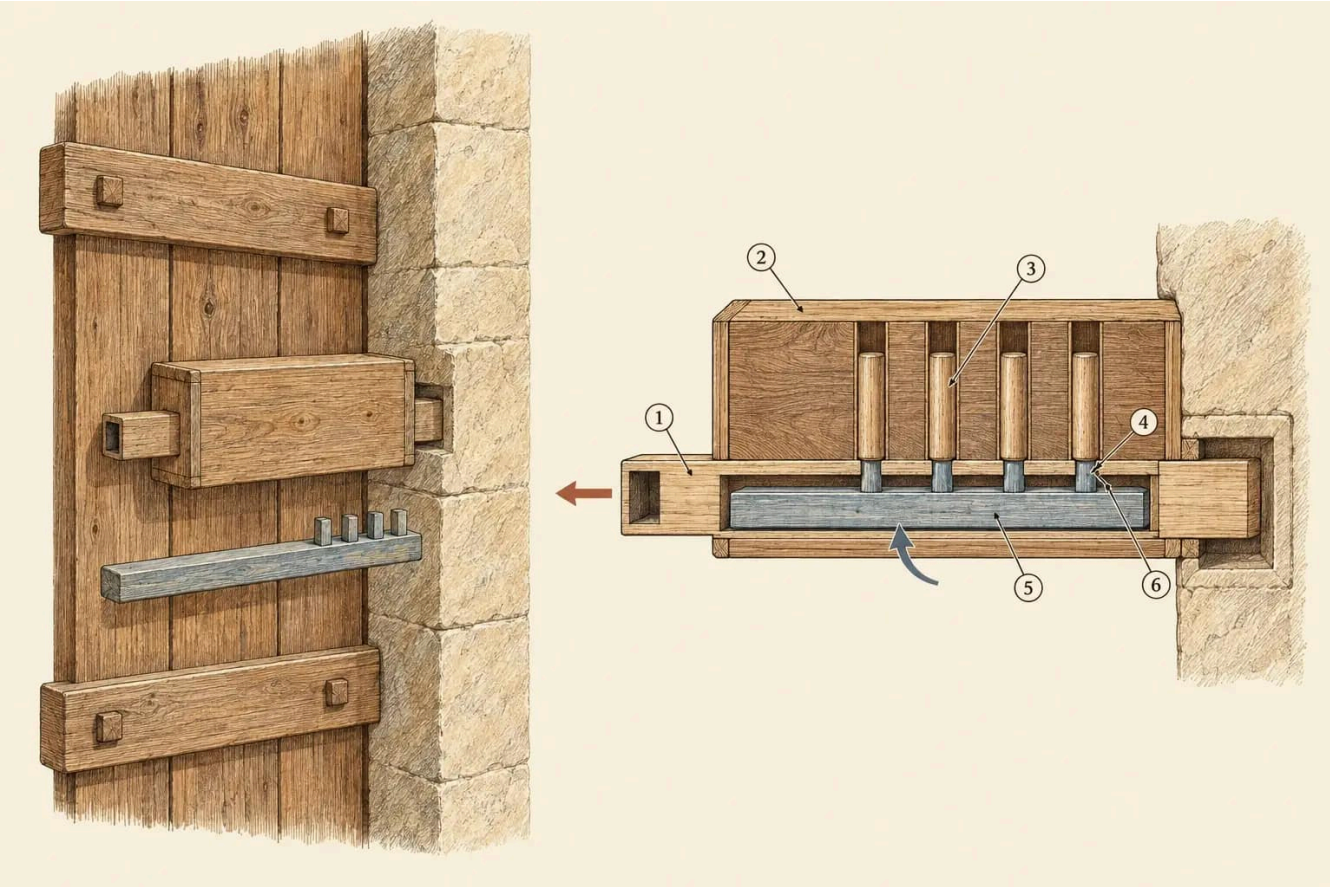
Factos verificados em 2026-10-14

Fechadura e chave

Um ferrolho que só a sua chave solta

c. 700 a.C. · Antiguidade · Fixação

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5)



1 Ferrolho 2 Caixa da fechadura 3 Cavilhas 4 Furos do ferrolho 5 Chave 6 Dentes da chave

Uma fechadura prende um ferrolho até que uma chave com a forma certa o liberte. As fechaduras de madeira com cavilhas já se usavam no antigo Próximo Oriente, e o mesmo princípio, aperfeiçoado no século XIX, funciona hoje na maioria dos canhões das portas.

O que é

Uma fechadura mantém fechada uma porta, uma tampa ou uma corrente, e uma fechadura de chave foi pensada para só abrir com a chave correspondente. Toda a fechadura de chave tem um ferrolho que fecha, um obstáculo que o prende e uma chave cuja forma retira esse obstáculo.

A prancha mostra a fechadura de madeira com cavilhas, muitas vezes chamada fechadura egípcia. Não precisa de metal nem de molas e, no entanto, já funciona como um canhão moderno de pinos.

Como funciona

A caixa é um bloco de madeira fixado do lado de dentro da porta. Um ferrolho quadrado desliza por um túnel na sua parte de baixo, e a ponta entra num encaixe aberto na ombreira. O ferrolho é oco, e a sua parede superior tem

uma fila de furos. Por cima, cavilhas de madeira soltas pendem em furos verticais da caixa. Quando se empurra o ferrolho para o lugar, as cavilhas caem pelo próprio peso nos furos e prendem-no.

A chave é uma barra comprida e plana com dentes dispostos como os furos. Mete-se no oco do ferrolho e levanta-se. Os dentes empurram as cavilhas para cima até a ponta de baixo ficar rente ao topo do ferrolho, que então se pode puxar para trás, com a chave ainda lá dentro. Se um dente estiver fora do sítio, pelo menos uma cavilha fica no seu furo.

As fechaduras posteriores prenderam o ferrolho com outras peças. Uma fechadura de guardas tem obstáculos fixos, as guardas, no percurso da chave que roda, e só uma chave com cortes nos sítios certos roda o suficiente para mover o ferrolho. Uma fechadura de alavancas tem uma pilha de alavancas basculantes que é preciso levantar, cada uma, exatamente à altura certa antes de o ferrolho poder passar.

Numa fechadura de guardas, os cortes do palhetão deixam a chave rodar sem bater nas guardas fixas e mover o ferrolho.

O canhão moderno de pinos mantém a ideia de peças que a chave tem de levantar até uma altura certa. Um rotor de latão roda dentro de um corpo fixo. Cinco ou seis pares de pinos, empurrados para baixo por pequenas molas, atravessam a fronteira entre as duas peças e impedem o rotor de rodar. Os entalhes da chave levantam cada par de modo que a junção entre o pino de baixo e o de cima fique exatamente nessa fronteira, a linha de corte, e o rotor roda.

Como construir

Uma fechadura de madeira com cavilhas é um bom projeto de fim de semana para uma caixa ou um armário. Com alguma paciência abre-se sem chave, por isso é uma peça de demonstração.

Fazer o ferrolho. Pegue numa ripa de madeira dura com 40 mm de largura, 45 mm de altura e 40 cm de comprimento. Abra na face de baixo um rasgo com 20 mm de largura e 30 mm de profundidade, desde a ponta interior até para lá do meio, e cole por baixo uma ripa fina para o fechar em túnel. Os 15 mm de madeira que ficam por cima do rasgo formam a parede superior. Faça nela três ou quatro furos de 10 mm, com intervalos irregulares.

Fazer a caixa. Prepare um bloco com um túnel quadrado por onde o ferrolho deslize, furando-o e esquadrando-o com o formão, ou colando quatro tábuas à volta do ferrolho. Com o ferrolho na posição fechada, fure o bloco na vertical até aos furos do ferrolho, para que tudo fique alinhado. Corte uma cavilha de 10 mm para cada furo e cole perto do topo um colar curto de cavilha mais grossa, de modo que atravesse a parede superior do ferrolho e não desça mais: a ponta de baixo tem de parar rente ao teto do rasgo, senão a chave não entra. Alargue a parte de cima de cada furo da caixa para alojar o colar e cole uma tampa no bloco para as cavilhas não saírem.

Fazer a chave. Aplaine uma barra plana com cerca de 10 mm de espessura que deslize à vontade no rasgo. Cole-lhe dentes de cavilha à mesma distância dos furos, cada um com 15 mm de altura, exatamente a espessura da parede superior; barra e dentes deixam assim 5 mm de folga sob o teto quando a chave entra. Quando se levanta a barra da chave até ao teto, os dentes enchem os furos e levantam as cavilhas até ficarem mesmo acima do ferrolho. Deixe espaço por cima dos colares para as cavilhas poderem subir essa distância.

Montar e experimentar. As cavilhas caem por gravidade, por isso a caixa tem de ficar numa superfície vertical, como o lado de dentro da porta de um armário, com as cavilhas a pender a direito; o encaixe do ferrolho abre-se no aro. Manobre a fechadura por dentro ou abra ao lado uma passagem para a mão. Lixe as cavilhas até caírem livremente e encere o ferrolho.

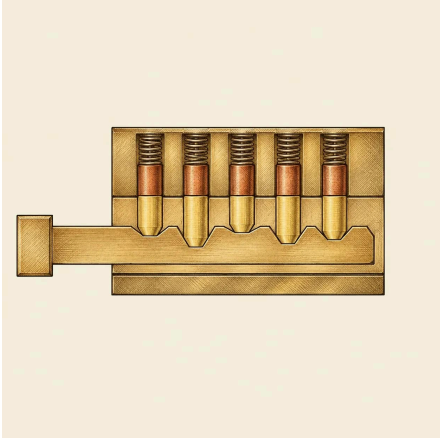
> **Segurança.** Prenda a peça com um grampo antes de serrar ou furar, mantenha as duas mãos atrás do gume dos formões e use óculos de proteção com o berbequim ou a tupia. Nunca ponha uma fechadura caseira numa porta que tenha de se abrir depressa numa emergência, como uma saída de emergência ou uma casa de banho.

História e evolução

As fechaduras são difíceis de datar, porque a madeira raramente se conserva. O arqueólogo francês Paul-Émile Botta encontrou em Khorsabad, no palácio do rei assírio Sargão II, uma porta fechada por uma grande fechadura de madeira com cavilhas, e Austen Henry Layard recuperou em Nínive uma chave de bronze com a mesma forma. Diz-se muitas vezes que a fechadura de Khorsabad tem 4000 anos, mas o palácio é do século VIII a.C., e o arqueólogo D. T. Potts mostrou que esse número vem de um catálogo mal lido. Defende também que textos mesopotâmicos de presságios mais antigos já nomeiam o ferrolho, as cavilhas e a fechadura, o que tornaria o dispositivo mais antigo do que qualquer exemplar conservado. O nome de «fechadura egípcia» vem do seu longo uso no Egito, onde ainda era comum no século XIX.

Os anéis-chave romanos abriam pequenos cofres; as fendas do palhetão deixavam-no passar pelas guardas da fechadura.

Os autores gregos conheciam chaves com vários dentes, e os ferreiros romanos fizeram a fechadura de ferro e a chave de bronze, acrescentaram as guardas e fabricaram cadeados. As pequenas chaves romanas tinham muitas vezes a forma de anéis, provavelmente para abrir cofres e caixas de joias mais do que portas; a roupa romana não tinha bolsos, e uma chave usada no dedo ficava ao mesmo tempo segura e à mão. Em Colchester, uma caixa de madeira foi enterrada numa sepultura com o anel-chave ainda metido na fechadura. As fechaduras medievais eram sobretudo de guardas, muitas vezes ricamente decoradas, e uma ferramenta fina bastava para as vencer.



Num canhão de pinos, a chave leva cada junção entre pinos até à linha de corte.

Em Inglaterra, Robert Barron patenteou em 1778 a fechadura de alavancas de duplo efeito. Joseph Bramah patenteou em 1784 uma fechadura cilíndrica de lâminas deslizantes e mais tarde prometeu uma recompensa a quem abrisse a que tinha na montra da sua loja de Londres; o desafio costuma ser datado de 1790, mas o cartaz guardado no Science Museum tem a data de 1801. O serralheiro americano Alfred Hobbs conseguiu-o durante a Grande Exposição de Londres de 1851, após cerca de 51 horas de trabalho repartidas por 16 dias. Em 1818, Jeremiah Chubb juntou um detetor à fechadura de alavancas: uma alavanca levantada demasiado bloqueava o mecanismo e denunciava a tentativa de arrombamento. Abraham Stansbury obteve em Inglaterra uma patente de fechadura de pinos em 1805, e Linus Yale pai patenteou os seus próprios modelos nos Estados Unidos na década de 1840. O filho, Linus Yale Jr., patenteou em 1861 uma fechadura de pinos com chave redonda e em 1865 uma fechadura que se abre com uma chave de aço plana e fina, cortada no bordo. A maioria dos canhões das portas atuais descende desse modelo.

Números-chave

Fechadura deste tipo mais antiga encontrada no local

Palácio de Sargão II em Khorsabad, Assíria, século VIII a.C.

Fechadura de desafio de Bramah

Patenteada em 1784, oferecida com recompensa a partir de 1790 ou 1801 conforme as fontes, aberta em 1851 após cerca de 51 horas de trabalho

Fechadura com detetor de Chubb

1818

Chave plana para canhão de pinos

Patenteada por Linus Yale Jr. em 1865

Fontes

1. Lock and key in ancient Mesopotamia (D. T. Potts, Mesopotamia 25, 1990) · Università di Torino, Mesopotamia https://www.yeshiva.org.il/midrash/pdf/wiki/potts_1990_-_lock_and_key_in_ancient_mes.pdf
2. Lock and key · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/technology/technology-terms-and-concepts/lock-and-key
3. Ring (Roman bronze key ring, 547-1871) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O377794/ring/
4. Challenge board for Bramah padlock, 1801 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50474/challenge-board-for-bramah-padlock
5. Improvement in locks, US patent 48,475 (Linus Yale Jr., 1865) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US48475A/en
6. Lock and key · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lock_and_key
7. An Account of the Manners and Customs of the Modern Egyptians (E. W. Lane, 1836), ch. 1 · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/70796
8. Lock (Encyclopædia Britannica, 11th edition, 1911) · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Lock
9. Working model of Egyptian pin lock (1966-364) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50403/working-model-of-egyptian-pin-lock

Factos verificados em 2026-10-12

III

Ofícios e cidades

Roda de oleiro

Moldar o barro fazendo-o girar

c. 4.000 a.C. · Pré-história · Ofícios e cidades

Requer: Cerâmica (p. 23)

1 Cabeça da roda 2 Vaso de barro 3 Eixo vertical 4 Chumaceira de colar 5 Volante 6 Mancal de pião

A roda de oleiro é um disco pesado que gira sobre um eixo vertical, de modo que o barro posto no centro pode ser moldado por igual à volta pelas mãos do oleiro. Nasceu no Médio Oriente como uma roda lenta há mais de seis mil anos; depois veio a roda rápida, que guarda impulso suficiente para tornear um vaso a partir de uma bola de barro.

O que é

A roda de oleiro é uma cabeça redonda e plana montada num eixo vertical que gira livremente. O oleiro põe uma bola de barro húmido no centro, fá-la girar e pressiona-a com as mãos molhadas ou com uma ferramenta. Como cada ponto do barro passa por sua vez debaixo das mãos, uma só pressão constante molda de uma vez toda a circunferência.

Há dois tipos. A roda lenta, ou roda de mão, é empurrada à mão com pequenos impulsos. Ajuda o oleiro a acertar um vaso feito com rolos de barro e a acabar o bordo. A roda rápida continua a girar sozinha porque é pesada, e anda depressa o suficiente para tornear: levantar um vaso em poucos minutos a partir de uma bola maciça, só com a rotação e as mãos.

Os dois tipos sobrepõem-se, e os arqueólogos distinguem hoje a máquina da técnica de modelação usada nela. A prancha mostra uma roda de pé, uma roda rápida movida com o pé, de um tipo usado nas oficinas europeias antes dos motores elétricos.

Como funciona

A roda de pé tem um único eixo vertical, quase sempre de ferro. Em cima leva a cabeça, à altura da cintura do oleiro sentado. Perto do chão leva o volante, um disco grosso e pesado de madeira, pedra ou betão. O eixo roda em duas chumaceiras: um colar logo abaixo da cabeça que o mantém direito e um mancal em baixo, onde a ponta aguçada ou arredondada roda numa taça e suporta todo o peso.

O oleiro senta-se num banco atrás da roda e empurra o volante com um pé. Um volante pesado precisa de vários pontapés para arrancar, mas depois de girar armazena energia e continua a rodar enquanto as mãos trabalham. Quanto mais pesado for, e quanto mais peso tiver junto ao bordo, mais tempo mantém a velocidade. A maioria dos oleiros faz girar a roda no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio; no Japão a tradição é o sentido dos ponteiros.

O torneamento segue uma ordem fixa. Primeiro centra-se o barro: aperta-se com as duas mãos até girar redondo e deixar de oscilar. O oleiro abre-o depois enterrando os polegares no meio, deixa um fundo e alarga o barro num anel grosso. Puxando para cima, uma mão dentro e outra fora, sobe a parede, mais fina e mais alta a cada passagem. Por fim alarga ou aperta a forma, alisa o bordo e solta o vaso da cabeça com um arame. Mãos e barro mantêm-se molhados o tempo todo, e um rim de madeira encostado à parede que gira alisa-a e retira a água que sobra à superfície.

As fases do torneamento: centrar, abrir, subir um cilindro e dar a forma.

Ferramentas do torneiro: um rim para alisar a parede, um arame para soltar a peça, uma esponja, um pau aguçado e um vazador para retornear.

O barro guarda o registo de como um vaso foi feito. As estrias e marcas deixadas por dedos e ferramentas nas paredes interior e exterior, e a maneira como o barro está estratificado por dentro, permitem aos arqueólogos distinguir um vaso torneado a partir de uma bola numa roda rápida de outro feito com rolos e apenas moldado numa roda. Muitos dos primeiros vasos «feitos à roda» revelam-se do segundo tipo, e é assim que se pode seguir a lenta difusão do torneamento. As ferramentas também deixam marcas: o rim deixa uma faixa lisa, e um arame passado por baixo de um vaso ainda a girar deixa na base um desenho curvo, como uma concha.

Como construir

Uma roda de pé pode ser construída numa oficina com madeira, um eixo de aço, duas chumaceiras e um volante moldado em casa. O plano da Mother Earth News citado nas fontes usa uma armação com cerca de 75 cm (30 polegadas) de lado, que também suporta o assento. O volante acabado pesa cerca de 60 a 75 kg: escolha chumaceiras, cubo e fixações adequados a essa carga, ou siga um plano completo publicado.

Montar a armação. Aparafuse uma armação em forma de cubo com prumos de 10 × 10 cm e travessas de 5 × 10 cm, com uma travessa logo abaixo do topo para a chumaceira de cima e uma travessa robusta em baixo para

a de baixo. Fixe uma tábua de assento atrás e um apoio de pé mais ou menos à altura do joelho, do lado onde se empurra.

Montar o eixo e as chumaceiras. Use um eixo de aço direito com cerca de 25 mm de diâmetro. Aparafuse uma chumaceira de flange deitada sobre a travessa de baixo, para suportar o peso, e outra chumaceira de flange deitada sob um apoio da travessa de cima, para manter o eixo direito; fixe ambas ao eixo com os parafusos de aperto. Os rolamentos estanques autoalinhantes são os mais simples. Verifique com um fio de prumo que o eixo está perfeitamente vertical e que roda sem tocar na madeira.

Moldar o volante. Corte um disco de contraplacado com cerca de 60 cm, com um furo exatamente no centro, enfie nele o eixo e aparafuse ao contraplacado um cubo ou colar de aço preso ao eixo. Envolva o disco com uma tira de feltro betuminoso ou chapa para formar um molde de 15 a 18 cm de altura, atravesse o contraplacado com parafusos que fiquem salientes dentro do molde e encha com 10 a 12 cm de betão, que vai ganhar presa à volta do cubo. Espere pelo menos dois dias antes de o mexer, mantenha-o húmido durante a cura e não o ponha a rodar antes de o betão atingir a resistência que o fabricante indica para entrar em carga.

Montar a cabeça. Coloque o eixo com o volante nas chumaceiras e fixe em cima uma cabeça de madeira ou metal com 25 a 30 cm. Rode à mão e corrija qualquer empeno antes de pôr barro.

> **Segurança.** O volante é pesado e continua a rodar muito tempo: mantenha dedos, pés e roupa larga fora do espaço entre o volante e a armação, e nunca o pare agarrando o bordo. Nunca suba nem se ponha de pé em cima do volante, o que pode danificar a fixação. Use óculos e luvas ao preparar o betão, que é cáustico. O pó de argila contém sílica: limpe a roda e o chão com água, nunca varrendo a seco.

História e evolução

Durante milhares de anos, os vasos fizeram-se à mão antes de existir a roda. Entre os dispositivos rotativos para cerâmica mais antigos e mais bem estudados estão os do Levante meridional, da segunda metade do V milénio a.C.; outras rodas mais antigas noutros lugares são discutidas. As investigações de Valentine Roux e dos seus colegas mostram que os oleiros dali faziam os vasos com rolos e depois os moldavam na roda, e que só alguns especialistas faziam esse trabalho, para taças finas de estatuto especial. Segundo esta leitura, a roda espalhou-se de início mais pelo prestígio do que pela rapidez.

Uma roda de pedra em duas peças: o disco de cima roda sobre o seu pião, encaixado na cavidade da pedra de baixo.

No período de Uruk, na Mesopotâmia, por volta de 3400 a.C., a roda rápida já estava em uso, e uma roda de oleiro encontrada em Ur foi datada de cerca de 3100 a.C. A técnica chegou ao Egeu no III milénio a.C., embora se discuta se passou por Creta, e à Britânia só no século I a.C. Nas Américas, os oleiros produziram cerâmica fina sem qualquer roda até ao contacto com os europeus. No mito egípcio, o deus Khnum molda os primeiros humanos numa roda de oleiro.

Não se sabe ao certo quando apareceu a roda de pé, com o seu eixo comprido e o volante empurrado com o pé; algumas rodas antigas eram rodadas à mão ou com um pau. Rodas posteriores usaram um pedal e uma manivela para transformar o movimento de vaivém da perna em rotação, e hoje muitas rodas são movidas por motores elétricos.

Números-chave

Primeira cerâmica moldada na roda
Levante meridional, segunda metade do V milénio a.C.

Roda rápida na Mesopotâmia
Em uso no período de Uruk, por volta de 3400 a.C.

Roda de oleiro de Ur
Datada de cerca de 3100 a.C.

Chegada à Britânia
Século I a.C.

Fontes

1. Unveiling the sign value of early potter's wheels based on a 3-D morphometric analysis of Late Chalcolithic vessels from the southern Levant (Roux and Harush, 2022) · Bar-Ilan University research portal (Journal of Archaeological Science: Reports) https://cris.biu.ac.il/en/publications/unveiling-the-sign-value-of-early-potters-wheels-based-on-a-3-d-m/
2. Potter's wheel · Buckinghamshire Council Heritage Portal https://heritageportal.buckinghamshire.gov.uk/theme/tbc463
3. Pottery kick wheel plans · Mother Earth News https://www.motherearthnews.com/diy/pottery-kick-wheel-plans-zmaz70ndzgoe/
4. Potter's wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Potter%27s_wheel
5. A preliminary study of rotation velocity regulation in pottery wheel-throwing: fieldwork with Indian potters using the low-inertia kick-wheel (Gandon et al., 2021) · HAL open archive (Journal of Archaeological Science: Reports) https://amu.hal.science/hal-03475151
6. The Ancient Greek potter’s wheel: experimental archaeology and web applications for velocity analysis (Neth and Hasaki, 2021) · Interdisciplinaria Archaeologica https://iansa.eu/papers/IANSA-2021-02-neth.pdf
7. Ceramics Unit 8: Wheel Throwing · Colorado State University Extension (4-H) https://co4h.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/27/2026/03/Ceramics-Unit-8-Wheel-Throwing.pdf
8. Weights of clay needed for ware sizes · Lakeside Pottery https://www.lakesidepottery.com/HTML%20Text/Tips/weights-of-clay-needed-for-ware-size.pdf
9. Water of plasticity · Digitalfire Reference Library https://digitalfire.com/test/wopl

Factos verificados em 2026-10-12

Bronze

Cobre e estanho, mais duros juntos

c. 3.300 a.C. · Pré-história · Ofícios e cidades

Requer: Cerâmica (p. 23), Domínio do fogo (p. 9), Carvão vegetal (p. 65)

Conduz a: Pilha elétrica (p. 240), Engrenagens (p. 153), Metalurgia do ferro (p. 136), Bomba de pistão (p. 161)

1 Cadinho com bronze fundido 2 Fole de pote 3 Algaraviz de barro 4 Molde exterior de barro 5 Núcleo de barro 6 Funil e canal de vazamento

O bronze é cobre ligado com um pouco de estanho, em geral cerca de um décimo. É mais duro do que o cobre, funde a temperatura mais baixa e enche bem um molde; a partir do IV milénio a.C. deu nome a toda uma idade de ferramentas, armas, vasos e estátuas.

O que é

O bronze é uma liga, um metal formado por dois ou mais elementos, aqui sobretudo cobre com uma parte menor de estanho; a receita clássica leva cerca de nove partes de cobre para uma de estanho, em peso. Os objetos antigos conservados têm entre dois terços e 95 % de cobre, às vezes com outros metais como arsénio, chumbo ou zinco.

O estanho endurece o cobre, e uma lâmina conserva melhor o gume. O bronze funde num intervalo de temperaturas à volta de 950 °C, conforme o teor de estanho, enquanto o cobre puro funde a 1085 °C; essa

temperatura mais baixa é mais fácil de atingir com um fogo de carvão vegetal e foles. O bronze fundido corre também bem no molde.

Como funciona

O cobre puro é feito de cristais cujos planos de átomos deslizam facilmente uns sobre os outros; por isso dobra e amolga. Os átomos de estanho são maiores. Espalhados pelo cobre, travam esses planos, de modo que o metal resiste melhor a dobrar e a amolgar. A martelagem a frio endurece-o ainda mais, de modo que uma lâmina de bronze podia ser fundida e depois batida no gume para o endurecer.

O teor de estanho decide o uso do metal. O bronze com cerca de 10 % de estanho era a norma para fundir ferramentas e armas; um mais macio, com 6 %, era batido em chapa. O bronze de sino tem mais de 20 % de estanho: é duro e soa bem, mas parte-se se cair. Estanho a mais torna quebradiço qualquer bronze.

Matérias-primas do comércio da Idade do Bronze: um lingote de cobre «em pele de boi» com quatro pegas e pedaços de estanho.

Os minérios de cobre e de estanho raramente aparecem no mesmo sítio. O cobre era extraído em muitas regiões, Chipre entre as mais ricas; o estanho vinha de muito menos lugares, como a Cornualha, os montes Tauro e o Afeganistão ou as suas vizinhanças. O bronze dependia por isso de longas rotas comerciais, e uma falha no abastecimento de estanho podia parar a produção muito longe dali.

Um molde de pedra em duas peças: fechadas, as duas metades formam o machado, e o metal é vazado pela ponta estreita.

As formas simples, como os machados planos, fundiam-se em moldes abertos ou em moldes de duas peças, de pedra ou de barro. Os objetos ocos ou muito pormenorizados podiam ser feitos por fundição por cera perdida. O fundidor modelava o objeto em cera à volta de um núcleo de barro, juntava varetas de cera que haviam de ser o canal de vazamento e envolvia tudo em barro fino. Ao cozer o molde, a cera derretia e escorria. O bronze vazado no molde quente ocupava o espaço deixado pela cera, e o molde era partido depois de o metal arrefecer. As fundições artísticas ainda trabalham assim: vazam o bronze bem acima dos 1000 °C num molde aquecido antes a várias centenas de graus, para que não estale.

Como construir

Fundir bronze é lidar com metal a mais de 1000 °C. Aprenda numa formação de fundição ou na oficina de uma escola, com um fundidor experiente, antes de o tentar noutro lado. Os passos seguintes descrevem uma pequena fundição por cera perdida.

Fazer o modelo. Modele um pequeno objeto em cera de fundição, maciço e em ponto algum mais grosso do que um dedo. Fixe uma vareta e um copo de cera na parte mais grossa: vão formar o canal de vazamento.

Revestir. Fixe o copo de cera numa base de vazamento de borracha, ponha um cilindro de aço por cima e encha-o com um revestimento vendido para fundição de bronze, mistura de gesso e sílica; ao retirar a base, o copo fica como abertura de vazamento. Siga à risca as instruções do fabricante para a mistura, a presa e a secagem: cada sistema tem as suas.

Retirar a cera. Aqueça o molde virado ao contrário num forno segundo o ciclo de cozedura indicado para o revestimento, para a cera escorrer e o molde ficar completamente seco. Vaze enquanto ainda está quente: um molde frio ou húmido pode rachar ou cuspir o metal.

Fundir o metal. Use bronze de fundição já preparado (cobre com cerca de 10 % de estanho) ou pese cobre e estanho limpos na proporção de 9 para 1. Funda-o num cadinho de barro e grafite, num forno com ar forçado; se fizer a liga, junte o estanho no fim e retire a escória.

Vazar e acabar. Levante o cadinho com tenazes próprias e vaze num jato contínuo até encher o copo. Deixe arrefecer, parta o molde, corte o canal e depois lime, cinzele e pula a superfície.

> **Segurança.** O metal fundido provoca queimaduras graves e incêndios. Use vestuário de proteção contra salpicos de metal fundido, viseira por cima de óculos de segurança, luvas e botas de fundição, com as calças por fora das botas para o metal não entrar, e mantenha os curiosos afastados. Ferramentas, moldes e lingotes têm de estar completamente secos: uma gota de água debaixo do metal fundido transforma-se em vapor e projeta-o. Vaze por cima de areia seca, nunca sobre betão, e trabalhe ao ar livre ou com uma extração forte. Nunca funda sucata de composição desconhecida: o latão liberta fumos de zinco e algumas ligas antigas contêm chumbo ou outros metais tóxicos. O revestimento e os moldes partidos libertam poeira de sílica: misture-os e parta-os em húmido ou com extração de poeiras, e use um equipamento de proteção respiratória certificado e bem ajustado contra poeiras finas de sílica.

História e evolução

No planalto iraniano, em sítios como Tal-i Iblis, produzia-se cobre ligado com arsénio por volta de 3800 a 3400 a.C. O cobre arsenical é duro, mas os seus fumos são venenosos. O bronze de estanho mais antigo conhecido até hoje é uma folha de Pločnik, na Sérvia, que os seus escavadores datam de cerca de 4650 a.C., embora o contexto do achado tenha sido contestado; foi provavelmente obtida a partir de um minério que já continha os dois metais. No Médio Oriente, a Idade do Bronze é datada a partir de meados do IV milénio a.C., de início sobretudo com cobre arsenical; o bronze de estanho tornou-se lá a liga habitual durante o III milénio. Na China, a Idade do Bronze começou no início do II milénio a.C.

O navio de Uluburun, que se afundou ao largo do sul da Turquia por volta de 1300 a.C., mostra a escala desse comércio. O porão levava cerca de 10 toneladas de cobre cipriota, incluindo cerca de 350 lingotes em pele de boi, e cerca de uma tonelada de estanho, mais ou menos a proporção de dez para um do bronze. Na China, as cortes shang e zhou mandavam fundir vasos rituais para oferendas e sepulturas, por um método de moldes em peças sem paralelo noutros lugares.

Um caldeirão ritual shang do tipo ding. Os fundidores chineses vazavam estes vasos em moldes montados a partir de muitas peças de barro.

Por volta de 1200 a.C., guerras e migrações no Mediterrâneo oriental cortaram muitas rotas comerciais; uma explicação é que o estanho escasseou, embora os indícios variem de região para região. O ferro, cujo minério se encontra quase em toda a parte, foi substituindo o bronze nas ferramentas e nas armas à medida que os ferreiros aprenderam a trabalhá-lo. O bronze continuou a ser usado em sinos, estátuas, espelhos, moedas e ferragens de navios, e hoje em chumaceiras, molas e peças marítimas que têm de resistir à água do mar.

Números-chave

Liga clássica
Cerca de 9 partes de cobre para 1 de estanho

Fusão
Num intervalo à volta de 950 °C, conforme o estanho (cobre puro: 1085 °C)

Bronze de estanho mais antigo encontrado
Uma folha de Pločnik (Sérvia), datada de cerca de 4650 a.C. (discutido)

Carga de Uluburun, por volta de 1300 a.C.
Cerca de 10 t de cobre e 1 t de estanho

Fontes

1. Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago (Radivojević et al., Antiquity, 2013) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/tainted-ores-and-the-rise-of-tin-bronzes-in-eurasia-c-6500-years-ago/496710374082FC211C512670F0A98004
2. Uluburun Shipwreck · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/Uluburun_Shipwreck/
3. Metalworking techniques · Victoria and Albert Museum https://www.vam.ac.uk/articles/metalworking-techniques
4. Rodin's lost-wax casting process · North Carolina Museum of Art https://learn.ncartmuseum.org/resources/rodins-lost-wax-casting-process/
5. Jue (ritual wine vessel), Late Shang dynasty · University of Arkansas Museum https://scholarworks.uark.edu/uamumaa/2
6. Bronze · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze
7. Cu-Sn system: calculated phase diagram and invariant reactions (after Shim, Oh, Lee and Lee, 1996) · National Institute of Standards and Technology https://www.metallurgy.nist.gov/phase/solder/cusn.html
8. C90700 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C90700.pdf
9. C91100 tin bronze: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91100.pdf
10. C91300 bell metal: data sheet · Wieland Concast, with physical data from the Copper Development Association https://www.concast.com/files/C91300.pdf
11. Experimental design of the Cu-As-Sn ternary colour diagram (Radivojević et al., 2018) · Journal of Archaeological Science 90 https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.12.001
12. Arsenic bronze: dirty copper or chosen alloy? A view from the Americas (Lechtman, 1996) · Journal of Field Archaeology 23 https://doi.org/10.1179/009346996791973774
13. From the object to the mould: is there a connection between microstructure of a cast bronze object and its mould material used? (Jochum Zimmermann, Künzler Wagner and Osimitz, 2012) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10076
14. Castability control in metal casting via fluidity measures (Dewhirst, PhD thesis, 2008) · Worcester Polytechnic Institute https://web.wpi.edu/Images/CMS/A_2.pdf
15. Effect of composition and pouring temperature of Cu-Sn on fluidity and mechanical properties of investment casting (Slamet et al., 2024) · Archives of Foundry Engineering 24(3) https://doi.org/10.24425/afe.2024.151290

Factos verificados em 2026-10-12

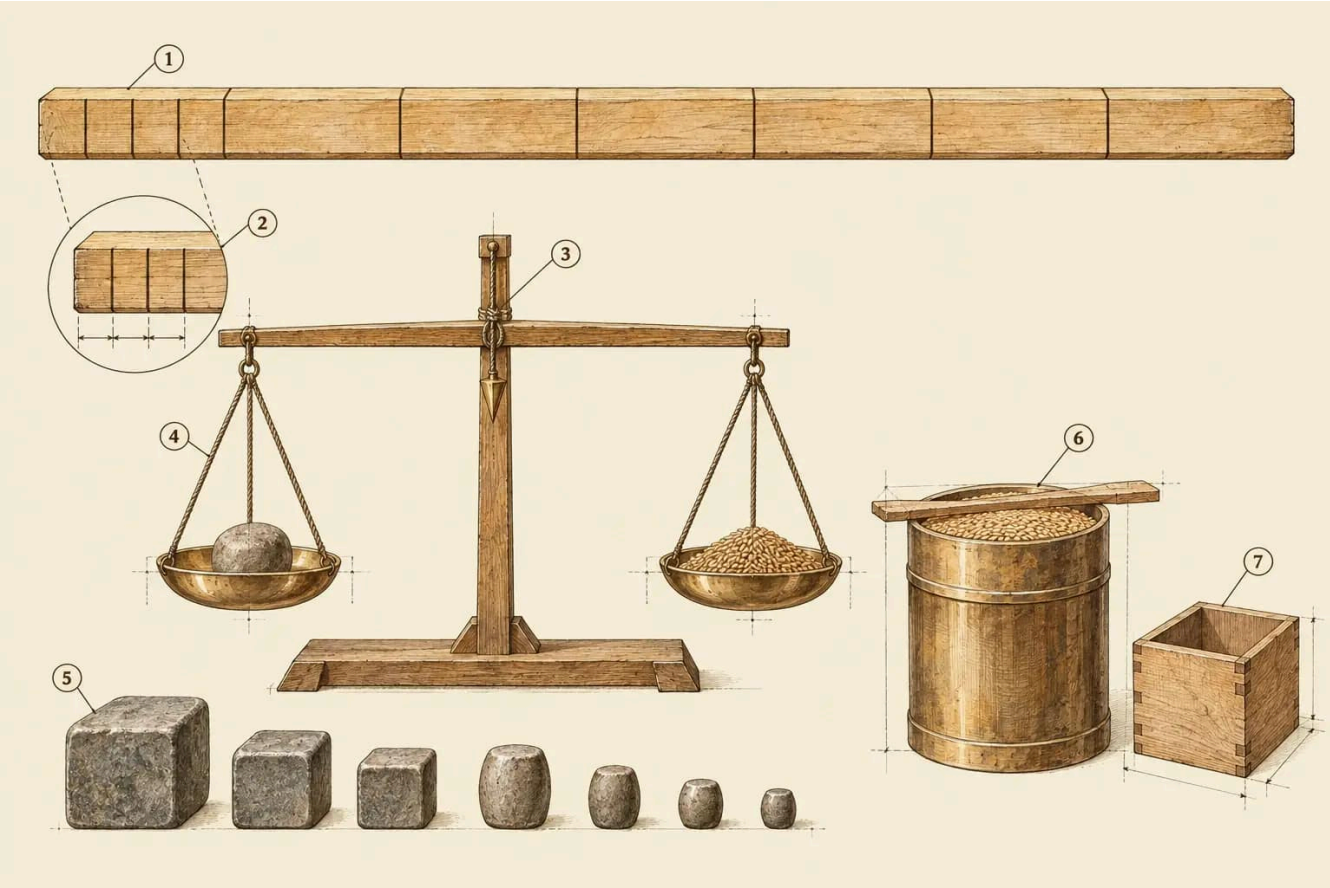
Medidas e padrões

O côvado, a balança e o metro

c. 3.000 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Ferramentas de pedra (p. 5), Corda e cordame (p. 13), Cerâmica (p. 23)

Conduz a: Aqueduto (p. 145), Navegação astronómica (p. 210), Reidratação oral (p. 375), Cimento Portland (p. 257), Termómetro e barómetro (p. 222)



1 Régua de um côvado, o padrão de comprimento 2 Primeiro palmo dividido em quatro dedos
3 Travessão suspenso pelo centro exato, com fiel 4 Prato suspenso por cordas 5 Jogo de pesos de pedra
6 Medida de grão com a rasoura 7 Cubo tirado da unidade da régua

Uma medida é um comprimento, um peso ou um volume combinados de antemão, e um padrão é o objeto que a conserva: uma régua, um jogo de pedras ou uma vasilha, guardados e copiados. O Egito media em côvados, palmos e dedos, os pesos de balança espalharam-se a partir da Mesopotâmia por volta de 3000 a.C., e esse mesmo trabalho de guardar e copiar referências levou ao metro e ao quilograma.

O que é

Uma medida permite comparar coisas que não estão lado a lado: vigas encomendadas a uma floresta distante, grão vendido a volume, cobre vendido a peso. As unidades em si são arbitrárias. O que conta é que todas as cópias concordem entre si.

Um padrão é o objeto que fixa uma unidade: uma régua, um peso, uma vasilha. Uma autoridade guarda-o, e as cópias de uso são aferidas por ele. A prancha mostra as ferramentas básicas tal como um artesão as poderia refazer: uma régua de um côvado, uma balança de braços iguais com os seus pesos de pedra, uma medida de grão e uma caixa que transforma um comprimento num volume.

Como funciona

Comprimento. As unidades mais antigas vêm do corpo: antebraço, palmo, dedo, pé. Como os corpos variam, uma régua fixa o comprimento escolhido. O côvado real egípcio tinha 7 palmos de 4 dedos (aqui o palmo é a largura da mão, não a mão aberta), 28 dedos ao todo, e as réguas que chegaram até nós medem cerca de 52 a 53 cm. Kha, chefe de obras sepultado em Deir el-Medina, recebeu do rei um côvado dourado, mas provavelmente trabalhava com um dobrável encontrado no mesmo túmulo. Duas réguas comparam-se sem números: lado a lado, com as pontas alinhadas.

Peso. Uma balança de braços iguais compara duas cargas. O travessão pende do centro e os pratos pendem à mesma distância de cada lado, de modo que só fica horizontal quando os dois pratos levam o mesmo peso. Os pesos são pedaços de pedra dura ou de metal desbastados até equilibrarem uma referência, muitas vezes achatados por baixo para não rolarem.

Nas cidades do Indo, no III milénio a.C., os pesos eram sobretudo cubos de sílex. Um estudo dos de Mohenjo-daro, publicado em 1938, encontrou uma unidade de cerca de 0,86 g e pesos de 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 unidades, seguidos de degraus maiores como 160, 200, 320 e 640. Os mais comuns eram de 16 e 32 unidades, cerca de 13,7 e 27,4 g. Em vários tamanhos habituais, o desvio médio em relação à média era de apenas 1 a 2 %.

Os pesos do Indo eram cubos de sílex bandado; nos tamanhos menores, cada um pesava cerca de metade do anterior.

Volume. O grão, o azeite e o vinho vendiam-se com vasilhas de capacidade combinada, e os secos eram rasados com um pau direito, a rasoura. Um volume também pode sair de um comprimento: a ânfora romana usada como unidade valia um pé cúbico, e o primeiro quilograma era a massa de um decímetro cúbico de água.

Como construir

São precisos uma ripa direita de madeira dura bem seca com cerca de 60 cm, outra ripa para o travessão, cordel resistente, duas tigelas iguais, pedras duras de grão fino, limas, uma pedra plana de desbastar, uma faca de traçar, um compasso de pontas secas e algumas tábuas finas.

Escolher e copiar o padrão. Qualquer comprimento pode ser a unidade: um antebraço ou um metro de carpinteiro. Risque dois traços finos de través na régua, nas extremidades; os traços duram mais do que as faces das pontas, que se gastam. Guarde este padrão em local seco e use-o só para aferir cópias. Para o copiar, encoste-lhe uma ripa em branco, passe cada traço com a faca e depois vire a cópia de ponta a ponta, alinhe o seu primeiro traço com o do padrão e compare os outros: um traço que deixa de coincidir revela um erro.

Dividir sem contas. Para 7 palmos, abra o compasso a olho e marque-o sete vezes ao longo da régua. Se o último passo falhar o traço final, corrija a abertura e recomece até acertar. Divida um palmo em 4 dedos da mesma forma.

Fazer a balança. Suspenda o travessão por um cordel ou um pino a meio da sua aresta superior: assim quase toda a sua massa fica abaixo do ponto de apoio e ele volta sozinho à horizontal. Pendure os pratos em entalhes à

mesma distância do centro, fixe um fiel e raspe a ponta mais pesada até o travessão vazio ficar horizontal.

Aferi-la trocando as cargas. Equilibre uma pedra com areia e depois troque a pedra e a areia de prato. Se o travessão continuar horizontal, os braços são iguais. Se não, mude ligeiramente um entalhe, volte a pôr o travessão vazio na horizontal e repita o ensaio. Junte depois pequenos objetos a um prato e registe o menor que faz mexer o fiel: os pesos aferidos nesta balança não serão mais exatos do que isso.

Fazer pesos a partir de uma referência. Mesmo uma balança imperfeita copia um peso por substituição: equilibre a referência com areia, retire-a e desbaste uma pedra nova até equilibrar a mesma areia. Para uma série em que cada peso vale o dobro do anterior, desbaste uma pedra que equilibre duas unidades juntas, depois outra que equilibre essa pedra e as duas unidades juntas, e assim por diante. Compare os pesos grandes com a soma dos pequenos, porque os erros acumulam-se.

Tirar um volume da régua. Construa uma caixa aberta cujo comprimento, largura e profundidade interiores meçam um palmo cada. A água que lá cabe pode marcar um nível numa vasilha ou ser pesada para ligar um peso ao seu comprimento; a definição do primeiro quilograma fixava também a temperatura da água. O grão deve ser deitado solto, sem sacudir nem calcar, e rasado com a rasoura.

> **Segurança.** Desbastar pedra produz um pó fino que pode conter sílica: trabalhe a húmido, use óculos e uma máscara FFP2 ou FFP3, e limpe com água, não com vassoura. Prenda a peça com um grampo quando traçar com a faca. Não faça pesos de chumbo. Medidas feitas em casa não têm valor legal: na maioria dos países, vender a peso ou a volume exige instrumentos verificados.

História e evolução

Os pesos de balança aparecem na Mesopotâmia e no Egito por volta do início do III milénio a.C. Os textos mesopotâmicos definem o siclo, cerca de 8,4 g, como 180 grãos de cevada, e muitos pesos são pedras polidas, algumas esculpidas em forma de pato ou de leão. Uma equipa da Universidade de Göttingen comparou 2274 pesos de 127 sítios datados de c. 3000–1000 a.C. Unidades semelhantes difundiram-se da Mesopotâmia até à Europa, enquanto o vale do Indo tinha um sistema próprio. Em torno da média de cada unidade, os pesos dispersam-se com um coeficiente de variação (desvio-padrão dividido pela média) de cerca de 5 a 6 %. Quando a equipa fez 100 cópias em réplicas de balanças, cada uma a partir de um modelo escolhido ao acaso, a dispersão foi quase a mesma, 5,4 %, e os autores defendem que os mercadores mantinham as unidades de acordo comparando os seus pesos entre si, sem uma autoridade central.

Uma mesa pública de medidas: o comprador enchia uma cavidade e esvaziava-a pelo orifício de baixo.

Ainda assim, as cidades guardavam referências oficiais. Em Pompeia, uma mesa de pedra no fórum tinha cavidades com as medidas oscas locais; depois de Augusto unificar as medidas romanas, o conselho mandou alargá-las e abrir mais quatro. Em Inglaterra, Henrique VII mandou fazer em 1495–1497 uma jarda padrão de bronze e enviou cópias aos burgos; revelou-se imprecisa e foi substituída por volta de 1588.

Em 1791, a Academia das Ciências de Paris propôs um metro igual a um décimo milionésimo da distância do polo ao equador, e agrimensores mediram o meridiano de Dunquerque a Barcelona para o determinar. Em 1799, um metro de platina, definido pelas suas faces terminais, e um quilograma igual a um decímetro cúbico de água foram depositados nos Arquivos de França. Em breve a própria barra passou a ser a unidade.

Em 1875, dezassete países assinaram a Convenção do Metro, que criou o Bureau Internacional de Pesos e Medidas, perto de Paris. A partir de 1889, o metro passou a ser a distância entre dois traços numa barra de platina-irídio em X, a 0 °C, e o quilograma a massa de um cilindro da mesma liga; foram enviadas cópias aos Estados-membros. Verificações posteriores mostraram que as cópias se afastavam lentamente do original, cerca de 25 microgramas em valor mediano em 1989–1991. O metro foi redefinido pela luz do crípton em 1960 e pela velocidade da luz em 1983. Desde 20 de maio de 2019, o quilograma assenta na constante de Planck.

O quilograma internacional era guardado sob campânulas de vidro; o metro de 1889 era uma barra de secção em X.

Números-chave

Côvado real egípcio
7 palmos de 4 dedos, 28 ao todo; as réguas conservadas medem cerca de 52 a 53 cm

Pesos da Idade do Bronze comparados
2274 pesos de 127 sítios, c. 3000–1000 a.C.

Quilograma
Um cilindro de platina-irídio de 1889; definido pela constante de Planck desde 20 de maio de 2019

Pesos do Indo (Mohenjo-daro)
Unidade de cerca de 0,86 g; os pesos mais comuns valem 16 e 32 unidades, cerca de 13,7 e 27,4 g

Primeiros metro e quilograma
Padrões de platina depositados nos Arquivos de França em 1799

Fontes

1. Royal cubit rod inscribed with the name of pharaoh Amenhotep II (Suppl. 8647) · Museo Egizio, Turin https://collezioni.museoegizio.it/en-GB/material/S_8647
2. Cubit rod (Liverpool M13825) · Global Egyptian Museum / World Museum Liverpool https://globalegyptianmuseum.org/detail.aspx?id=4424
3. System of weights (A. S. Hemmy), in E. J. H. Mackay, Further Excavations at Mohenjo-daro (1938) · Archaeological Survey of India https://richardsproat.com/indus_weights/Hemmy-1938-weights-Mohenjodaro-Mackay.pdf
4. Hanging in the Balance: Precision Weighing in Antiquity (William B. Hafford, Expedition 47.2, 2005) · Penn Museum https://www.penn.museum/sites/expedition?p=9719
5. Bronze Age: how the market began (press release, 29 June 2021) · University of Göttingen https://www.uni-goettingen.de/en/73613.html?id=6309
6. Bronze Age weight systems as a measure of market integration in Western Eurasia (Ialongo, Hermann and Rahmstorf, PNAS 118, 2021) · Proceedings of the National Academy of Sciences https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8271817/
7. Bronze Age Merchants Developed Measurement System · Archaeology Magazine https://archaeology.org/news/2021/06/30/210701-bronze-age-weights/
8. Roman Weights and Measures · University of Kent https://blogs.kent.ac.uk/lucius-romans/2017/12/13/roman-weights-and-measures/
9. VII.7.31 Pompeii, Mensa Ponderaria · Pompeii in Pictures https://pompeiiinpictures.com/pompeiiinpictures/R7/7%2007%2031.htm
10. Cooking the volumes (Amelia Carolina Sparavigna, 2012) · arXiv, Politecnico di Torino https://arxiv.org/abs/1201.3774
11. Exchequer standard yard of King Henry VII, 1495-1497 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co57527/exchequer-standard-yard-of-king-henry-vii-1495-1497-rules-measuring-devices-linear-standards
12. Time Line for the Definition of the Meter (William B. Penzes) · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/document/museum-timelinepdf
13. Defining the International System of Units (SI) · NIST Museum https://www.nist.gov/nist-museum/defining-international-system-units-si
14. Historical perspective: Unit of mass, kilogram · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/kilogram
15. Historical perspective: Unit of length, metre · Bureau International des Poids et Mesures https://www.bipm.org/en/history-si/metre
16. The evolution of the metre · Physics World https://physicsworld.com/a/the-evolution-of-the-metre-how-a-product-of-the-french-revolution-became-a-mainstay-of-worldwide-scientific-collaboration/
17. SM052 Analytical balance, circa 1962 · University of Malta Science Museum https://staff.um.edu.mt/rlib1/sm/balance.htm
18. Site 1149, table T17: physical properties by lithology (ODP Leg 185 Initial Reports) · Ocean Drilling Program, Texas A&M University https://www.iodp.tamu.edu/publications/185_IR/chap_04/c4_t17.htm

Factos verificados em 2026-10-13

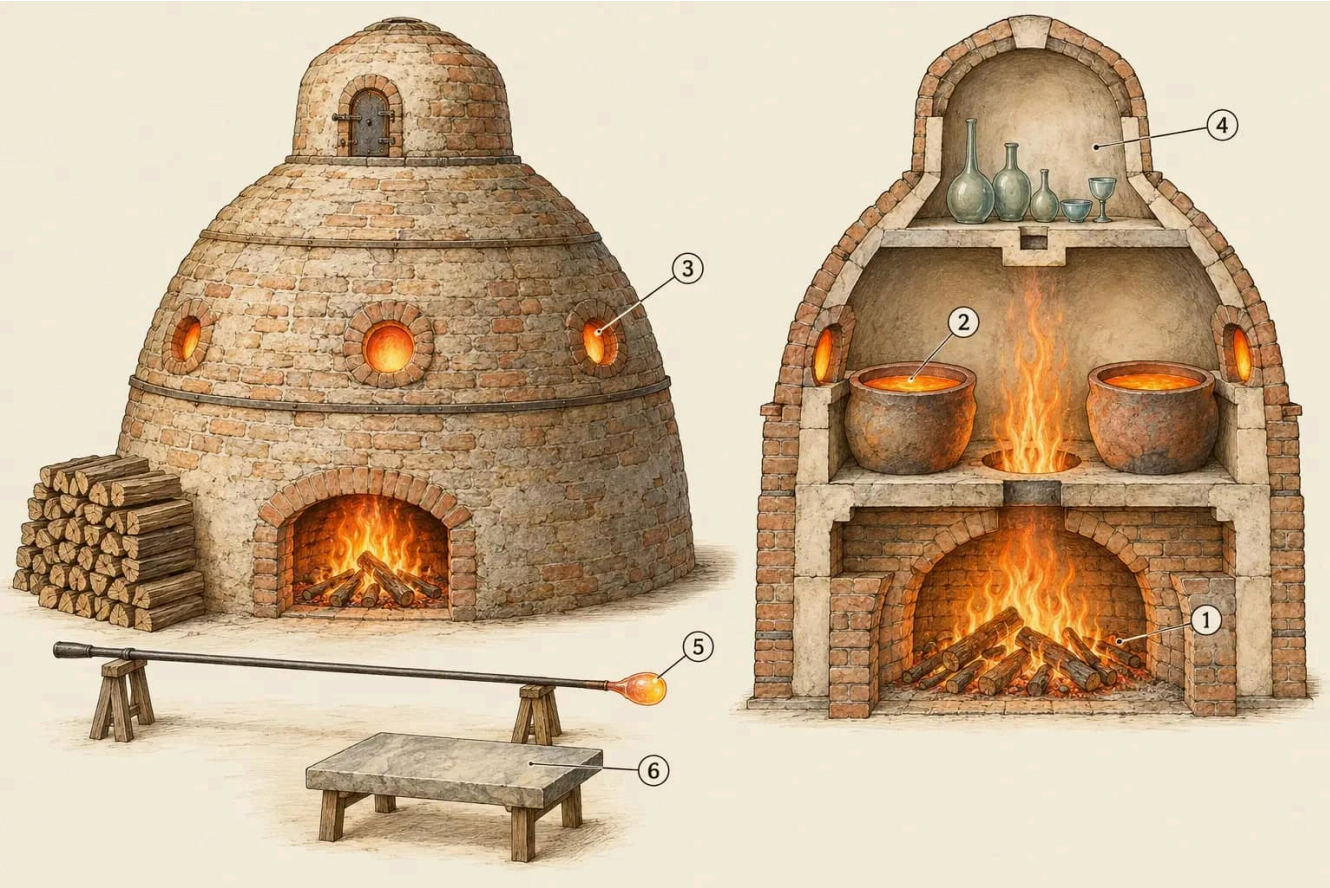
Vidro

Areia fundida e transparente

c. 2.500 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Cerâmica (p. 23)

Conduz a: Anestesia (p. 294), Conservas e pasteurização (p. 248), Óculos (p. 197), Lâmpada incandescente (p. 321), Penicilina (p. 356), Fotografia (p. 261), Célula solar (p. 370), Termómetro e barómetro (p. 222), Vacinação (p. 235)



1 Câmara do fogo 2 Cadinho com vidro fundido 3 Boca de trabalho 4 Câmara de recozimento 5 Cana com uma porção de vidro 6 Mármore

O vidro é areia fundida com um fundente como a soda e um pouco de cal, arrefecida antes de poder cristalizar, de modo que se torna um sólido duro que, quando puro, deixa passar a luz. Feito primeiro em contas na Mesopotâmia, tornou-se um material comum quando os vidreiros do Mediterrâneo oriental aprenderam a soprá-lo com uma cana no século I a.C.

O que é

O vidro é um sólido sem cristais. Quando se funde areia com os aditivos certos e o líquido arrefece depressa o suficiente, os átomos não têm tempo de se ordenar numa rede regular. Ficam presos numa rede desordenada: é por isso que o vidro é duro e frágil, e que amolece aos poucos com o calor em vez de fundir a uma temperatura certa. O vidro claro deixa passar a luz porque os seus componentes absorvem pouca luz visível e uma boa fusão não tem bolhas nem cristais que a dispersem.

O vidro comum, antigo ou moderno, é vidro sodocálcico. A areia de sílica forma a rede. A soda, tirada do mineral natrão ou das cinzas de plantas de sapal, baixa a temperatura de fusão até um nível que um fogo de lenha consegue atingir. A cal, muitas vezes já presente na areia sob a forma de restos de conchas, estabiliza o vidro para que a água não o ataque.

A prancha mostra um forno de vidro redondo do tipo descrito por Georgius Agricola em 1556, com a cana e o mármore do soprador.

Como funciona

O forno tem três níveis. Na câmara de baixo arde a lenha. As chamas sobem por um buraco redondo até à câmara do meio, onde potes de barro contêm o vidro fundido; Agricola descreve potes bojudos com cerca de dois pés de altura, metidos por aberturas na parede. O calor passa depois por uma abertura mais pequena para a câmara de cima, menos quente, que serve para o recozimento.

O soprador mergulha a ponta de uma cana de ferro num pote e roda-a para enrolar uma porção de vidro fundido, como mel numa colher. Ao rolá-la no mármore, uma placa lisa de pedra ou de ferro, centra-a e arrefece-lhe a pele. Um sopro faz uma bolha. Depois reaquece a peça na boca de trabalho, sopra e balança a cana para a esticar, e molda-a com pinças, pás e blocos de madeira. Para acabar o bordo, o vaso é preso pela base a uma vara maciça de ferro, o pontel, e solto da cana.

As ferramentas do soprador: cana, vara de ferro, pinça, tesoura, pá e bloco de madeira.

O vidro encolhe ao arrefecer, e a pele endurece antes do interior. Uma peça arrefecida ao ar livre guarda tensões internas e pode estalar horas depois. O recozimento evita isso: os vasos acabados passam para uma câmara quente e arrefecem devagar durante muitas horas. Agricola notava que os vasos que não arrefecessem devagar rebentariam.

A cor vem de impurezas e aditivos. O ferro da areia tinge o vidro de verde ou castanho; o manganês, que os vidreiros da época romana juntavam como descolorante, compensa-o, e o cobalto dá um azul intenso.

Como construir

O vidro é colhido num forno bem acima dos 1000 °C e moldado enquanto ainda está rubro. Aprenda a soprar numa oficina de vidro quente ou num curso com um formador; depois de dominar o básico, muitas oficinas alugam horas de forno.

Começar com casco. Os principiantes trabalham com vidro já feito, comprado como casco para refundir e fundido no forno da oficina. Fazer vidro a partir de uma mistura bruta de areia, soda e cal exige temperaturas mais altas e fusões longas, e esses pós são perigosos.

Colher e marmorear. Aqueça a ponta da cana, mergulhe-a no pote e rode com regularidade para colher uma pequena porção. Role-a no mármore para a deixar redonda e regular.

Soprar e moldar. Sopre um pouco, tape o bocal com o polegar e deixe o ar aquecer e dilatar. Reaqueça muitas vezes na boca de trabalho e não pare de rodar a cana para o vidro não descair. Molde com blocos de madeira molhados, pás e pinças, e forme com as pinças um gargalo estreito entre a peça e a cana.

Passar ao pontel e acabar. Um ajudante encosta à base um pontel com uma gota de vidro quente; arrefeça esse gargalo com uma gota de água posta com a pinça e bata na cana para a peça passar para o pontel. Reaqueça, abra

o bordo com a pinça e depois, como indicar o formador, solte a peça do pontel sobre um suporte resistente ao calor e coloque-a com cuidado no forno de recozimento.

Recozer. O forno de recozimento mantém a peça a uma temperatura fixa e depois arrefece-a devagar segundo um programa adequado ao vidro e à sua espessura; para peças pequenas, o ciclo dura em geral uma noite. Só lhe toque quando terminar o ciclo definido pelo formador.

> **Segurança.** Fornos, bocas de trabalho e vidro quente causam queimaduras graves e incêndios: use roupa de fibras naturais e calçado fechado, prenda o cabelo e trate qualquer peça de vidro como quente enquanto não tiver a certeza de que está fria. Use óculos próprios para trabalho de vidro, contra o encandeamento e os infravermelhos. A areia de sílica e os pós de mistura não devem ser respirados: deixe a produção de vidro em bruto para oficinas equipadas. Recoza cada peça acabada e nunca exponha vidro quente à água ou a uma corrente de ar frio: pode estalar. Funda apenas vidro aprovado pela oficina e de composição conhecida, num forno ventilado: o cristal de chumbo antigo e o vidro de cor desconhecido podem libertar fumos nocivos.

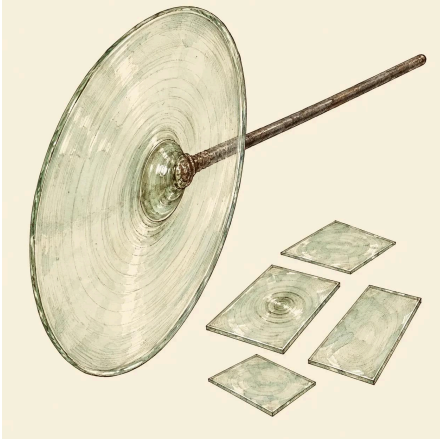
História e evolução

Um frasco feito sobre núcleo: antes do sopro, os vasos pequenos eram moldados à volta de um núcleo que depois se retirava.

O vidro aparece primeiro em pequenas contas na Mesopotâmia na segunda metade do III milénio a.C., provavelmente como derivação dos vidrados e da faiança. Os primeiros vasos, de finais do século XVI a.C., foram feitos no norte da Mesopotâmia e pouco depois no Egito pela técnica do núcleo: o vidro quente era enrolado à volta de um núcleo de barro e areia preso a uma vara de metal, decorado com fios de cor, e o núcleo era raspado depois de o vidro arrefecer.

Mais tarde, a vidraria dividiu-se em dois ofícios. Grandes fornos perto das costas do Levante e do Egito transformavam areia e natrão em vidro em bruto, vazado em blocos que podiam pesar cerca de 10 toneladas; os blocos eram partidos e os pedaços atravessavam o Mediterrâneo até às oficinas que os refundiam e moldavam. Esta divisão do trabalho existia em meados do I milénio a.C. Na segunda metade do século I a.C., artesãos desta região aprenderam a soprar o vidro com uma cana. O testemunho mais antigo datado com precisão, tubos de vidro soprados em forma de ampola, vem de uma oficina de Jerusalém. O sopro tornou o vidro barato, e no Império Romano passou a servir para loiça de mesa, garrafas de conserva e vidraças.

No norte da Europa, a partir de cerca do ano 1000, os vidreiros usaram potassa de cinza de madeira em vez de soda. Em 1291, Veneza ordenou aos seus vidreiros que mudassem os fornos para a ilha de Murano. A George Ravenscroft, que patenteou um novo vidro claro em 1674, atribui-se tradicionalmente o cristal de chumbo inglês. Durante séculos, os vidros de janela foram cortados de vidro de coroa, uma bolha aberta e rodada em disco, ou de cilindros soprados, abertos e espalmados, e ambos os métodos limitavam o tamanho de cada vidro. Na década de 1950, Alastair Pilkington e Kenneth Bickerstaff desenvolveram em St Helens o processo do vidro flutuado, em que o vidro fundido se espalha numa fita plana sobre um banho de estanho fundido. Rentável por volta de 1960, é hoje a forma habitual de fabricar vidro de janela.



O vidro de coroa: uma bolha aberta no pontel e rodada até formar um disco. O centro grosso onde estava a vara é o olho de boi.

Números-chave

Objetos de vidro mais antigos
Contas, Mesopotâmia, segunda metade do III milénio a.C.

Primeiros vasos de vidro
Feitos sobre núcleo, finais do século XVI a.C.

Vidro soprado
Segunda metade do século I a.C., Mediterrâneo oriental

Vidro flutuado
Vidro a flutuar sobre estanho fundido, desenvolvido na década de 1950

Fontes

1. The history of ancient glass · Republic of Türkiye, Ministry of Culture and Tourism https://www.ktb.gov.tr/EN-120370/the-history-of-ancient-glass.html
2. Composition of Late Hellenistic to Early Roman glass vessels from the Souk excavations, Beirut (Freestone, Brems and Degryse, Rendiconti Lincei, 2025) · UCL Institute of Archaeology https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10215996/1/Freestone_s12210-025-01311-x.pdf
3. Georgius Agricola, De re metallica (1556), trans. H. C. and L. H. Hoover, Book XII · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/cache/epub/38015/pg38015.txt
4. History of glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_glass
5. Float glass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Float_glass
6. Standard Glass DGG X, Soda-Lime-Silica Glass: viscosity-temperature behaviour measured by the PTB · Deutsche Glastechnische Gesellschaft https://hvg-dgg.de/fileadmin/Standard_Glass_DGG_X.pdf
7. Physical properties of glass · EAG Laboratories https://www.eag.com/app-note/physical-properties-of-glass/
8. Intraoral pressure in ethnic wind instruments (Goss, 2013), citing intraoral pressures up to 200 mbar in glassblowing · arXiv https://arxiv.org/abs/1308.5214
9. Draper point · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Draper_point

Factos verificados em 2026-10-12

Metalurgia do ferro

Uso mais difundido por volta de 1200 a.C.; minério, carvão e forno baixo

c. 1.200 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Bronze (p. 123), Carvão vegetal (p. 65)

Conduz a: Bicicleta (p. 253), Conservas e pasteurização (p. 248), Motor de combustão interna (p. 313), Bússola (p. 193), Motor elétrico (p. 278), Gerador elétrico (p. 274), Relógio mecânico (p. 201), Prensa de impressão (p. 205), Máquina de costura (p. 270), Máquina a vapor (p. 227), Aço (p. 140), Transformador (p. 330)

1 Foles 2 Algaraviz (bocal de argila para o ar) 3 Carga de carvão vegetal e minério 4 Parede de argila do forno 5 Lupa de ferro 6 Escória vazada

A redução do ferro extrai o metal do minério aquecido com carvão vegetal num pequeno forno de argila alimentado com ar por foles. Este forno baixo produz normalmente uma massa sólida e pobre em carbono, a lupa, que o ferreiro compacta e trabalha até obter ferro forjado.

O que é

O ferro é um dos elementos mais comuns da crosta terrestre, mas quase nunca aparece em estado metálico. Existe nos minérios como óxidos: a hematite vermelha, a magnetite negra, o minério castanho que se extrai dos pântanos. A redução retira o oxigénio a estes minérios e fica com o metal.

Durante quase três mil anos, isto fez-se no forno baixo, um forno de argila com cerca de um metro de altura onde o carvão vegetal arde sob o sopro dos foles. O seu produto é a lupa, uma massa esponjosa de ferro misturado com

escória. Martelada a quente, torna-se ferro forjado, tenaz e fácil de trabalhar. Dele se fizeram relhas de arado, pregos e espadas até o alto-forno o substituir na Europa, no fim da Idade Média.

Por dentro, uma lupa em bruto é uma esponja de ferro e escória. Horas de forja transformam-na numa barra.

Como funciona

Ao arder diante do algaraviz, o carvão aquece o forno. Mais acima na cuba, onde falta oxigénio, forma monóxido de carbono, e este gás, ao subir pela carga, retira o oxigénio ao óxido de ferro. O minério perde o oxigénio por etapas, e a reação torna-se rápida acima de uns 900 °C.

A lupa consolida-se primeiro a quente com golpes leves; pode ser reaquecida entre séries de marteladas.

O forno trabalha a cerca de 1100 a 1200 °C e produz normalmente uma lupa sólida, pobre em carbono. O ferro puro funde a 1538 °C, mas o ferro rico em carbono pode fundir às temperaturas do forno baixo. A sílica e outros minerais do minério combinam-se com parte do óxido de ferro e formam uma escória rica em ferro, que pode fluir a cerca de 1180 °C conforme a sua composição. A escória desce junto ao algaraviz, o bocal de argila que traz o ar, enquanto os grãos de metal se aglomeram logo abaixo e formam a lupa. O fundidor deixa sair a escória por um arco na base, ou a escória acumula-se numa cova sob o forno.

A lupa sai do forno incandescente e porosa, cheia de escória e carvão. Se for frágil, pode precisar de golpes leves ao início, por vezes com um maço de madeira. Também se pode deixá-la arrefecer e voltar a aquecê-la antes de a compactar; não é indispensável martelá-la logo ao calor branco. Aquecimentos e passagens sucessivas pela forja compactam o metal e expulsam grande parte da escória. A perda de peso depende da lupa e do método de forja. O carbono é geralmente pouco e está distribuído de forma irregular, pelo que a mesma lupa pode conter ferro macio e zonas de aço.

Como se constrói

Segue-se o esboço de uma pequena redução, não um desenho cotado. É preciso argila misturada com areia e palha, minério, muito carvão vegetal, foles ou um ventilador, e uma equipa para um dia inteiro.

Preparar o minério. Torrá-lo numa fogueira aberta para expulsar a água e torná-lo quebradiço, e parti-lo em pedaços de cerca de um centímetro. Partir o carvão em pedaços de uns dois centímetros e peneirar o pó, para o gás circular pela carga.

Erguer a cuba. Em terreno seco, levantar um cilindro de argila com cerca de um metro de altura e 25 a 30 cm de diâmetro interior, com paredes da grossura de vários dedos. Deixar um orifício junto à base para o algaraviz e um

arco que se possa abrir e voltar a fechar com argila. Deixar secar devagar vários dias e acabar com uma pequena fogueira lá dentro.

Pré-aquecer e carregar. Encher a cuba de carvão e fornecer ar até ficar em brasa de cima a baixo. Nas experiências do WIRG juntam-se cerca de 1 kg de minério e 1 kg de carvão por carga, a cada 10–15 minutos, com um total declarado de 15–20 kg de cada material por redução. São 15–20 cargas duplas, equivalentes a cerca de 2,5–5 horas a esse ritmo, sem pressupor cinco horas de carregamento contínuo. A duração declarada de cerca de cinco horas inclui a combustão final; o pré-aquecimento é feito à parte. Prever carvão adicional para o pré-aquecimento e para a última carga de carvão apenas: o total das cargas duplas não cobre todo o combustível.

Controlar o sopro. Vigiar a temperatura e a descida das cargas, ajustando o ar para manter a redução e o escoamento da escória. A absorção de carbono depende da proporção entre carvão e minério, da atmosfera do forno, do tempo de permanência e da química da escória. Mais ar, por si só, não permite prever a formação de ferro fundido: algumas experiências produziram ferro com menos carbono ao aumentar o caudal de ar. Vazar a escória à medida que se acumula; o WIRG indica um primeiro vazamento após cerca de três horas.

Extrair e compactar. Depois de a última carga arder, abrir a frente e tirar a lupa com a tenaz. Se for frágil, começar com golpes leves, por exemplo com um maço de madeira, e aumentar a força quando estiver mais coesa. Também é possível deixá-la arrefecer e reaquecê-la antes da compactação. Reaquecê-la na forja entre passagens até formar uma barra coesa.

> **Segurança.** Um forno baixo trabalha acima de 1100 °C. A escória líquida provoca queimaduras profundas e incêndios. Trabalhar ao ar livre sobre terra nua e seca, longe de erva seca, com areia seca à mão. Manter secos os utensílios e o terreno onde cai a escória. Nunca deixar que a água toque escória quente ou líquida nem entre no forno quente: a formação súbita de vapor pode causar uma explosão. Usar botas de couro, luvas, avental e óculos, e nunca ficar em frente do arco de vazamento. Pelo topo sai monóxido de carbono: manter o rosto afastado e nunca fazer reduções em espaços fechados. Argila ou minério húmidos podem rebentar com o calor.

História e evolução

Trabalhou-se o ferro antes de se saber reduzi-lo. Alguns dos objetos de ferro mais antigos foram martelados de meteoritos, que contêm níquel. Há indícios de reduções antigas na Anatólia, na atual Turquia, embora o lugar e a data da invenção continuem incertos. Em Kaman-Kalehöyük, fragmentos datados de cerca de 1800 a.C. incluem algum aço-carbono, e o carbono irregular sugere ferreiros que ainda faziam experiências. Por volta de 1250 a.C., o rei hitita Hattusili III escreveu uma carta sobre o fabrico de «bom ferro».

Por volta de 1200 a.C., o uso do ferro alarga-se no Próximo Oriente, a ritmos diferentes conforme a região. A redução já era conhecida antes. Cerca de 1100 a.C. já era comum em Chipre e no Levante. A maior parte da Europa usava-o desde cerca de 800 a.C., e em 500 a.C. os fornos baixos eram conhecidos do Mediterrâneo à Escandinávia. Ao contrário do cobre e do estanho do bronze, o minério de ferro encontrava-se em quase toda a parte.

A África teve tradições próprias, com fornos na Núbia desde o século VII a.C. e na África Ocidental o mais tardar no século VI a.C. A China aprendeu provavelmente a redução em forno baixo com o Ocidente por volta do século VIII a.C. e passou cedo a fornos quentes o bastante para produzir ferro fundido líquido.

Durante séculos, as lupas europeias pesaram cerca de dois quilos, pequenas o bastante para se forjarem à mão. Os fornos romanos, com até dois metros de altura, davam lupas de 10 a 15 kg, e por volta de 1500 os martelos hidráulicos já trabalhavam lupas de 100 kg ou mais. O alto-forno de Lapphyttan, na Suécia, já funcionava desde meados do século XII. Os altos-fornos difundiram-se mais nos séculos medievais seguintes e por volta de 1500

produziam ferro fundido em quantidade; os fornos baixos perderam terreno aos poucos. As forjas catalãs de Espanha e do sul de França ainda funcionavam em meados do século XIX.

Foles de pote: bombeando à vez as coberturas de couro, o ar corre sem interrupção.

Números-chave

Temperatura do forno
Cerca de 1100–1200 °C (o ferro puro funde a 1538 °C)

Duração de uma redução
Cerca de 5 horas para cargas e combustão final nas experiências do WIRG; pré-aquecimento à parte

Uso mais difundido
Por volta de 1200 a.C. no Próximo Oriente; a redução é anterior

Carga
Nas experiências do WIRG, cerca de 1 kg de minério e 1 kg de carvão por carga, a cada 10–15 minutos

Tamanho da lupa
Cerca de 2 kg no início da Idade do Ferro, 10–15 kg nos fornos romanos

Fontes

1. Bloomery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bloomery
2. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
3. Experimental Bloomery 4: The smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/?p=930
4. Questioning Diversity (of Iron) in the Workplace: Bloomery Iron, Cast Iron, China and the West (Liu & Wood, 2025) · Internet Archaeology 69 https://www.intarch.ac.uk/journal/issue69/14/full-text.html
5. Kaman-Kalehöyük · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Kaman-Kaleh%C3%B6y%C3%BCk
6. The explosion of No. 5 Blast Furnace, Corus UK Ltd, Port Talbot · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/web34.pdf
7. Lee Sauder and Skip Williams Smelt Iron · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/advanced/aa_2_5.html
8. Experimental Bloomery Ironmaking: The Bloom · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/bloom.htm
9. Experimental Bloomery Ironmaking: The Smelt · Wealden Iron Research Group https://www.wealdeniron.org.uk/Expt/smelt.htm
10. Medieval Iron in Society (Rapport H 34) · Jernkontoret https://www.jernkontoret.se/en/publications/history-of-mining-and-metallurgy1/Publications/rapport-h-34/
11. The Innovation and Adoption of Iron in the Ancient Near East (Erb-Satullo, 2019) · Journal of Archaeological Research, Springer Nature https://link.springer.com/article/10.1007/s10814-019-09129-6
12. Flow Rates · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://www.warehamforge.ca/ironsmelting/flowrates.html
13. Experimental Iron Smelting: Norse Bellows Air · Darrell Markewitz, Wareham Forge https://warehamforge.ca/ironsmelting/norse-air.html
14. The St Fagans Experimental Bloomery: the First Six Years (Young, 2005) · Historical Metallurgy Society News 59 https://historicalmetallurgy.org/media/pjwd2b5o/hmsnews59.pdf

Factos verificados em 2026-10-12

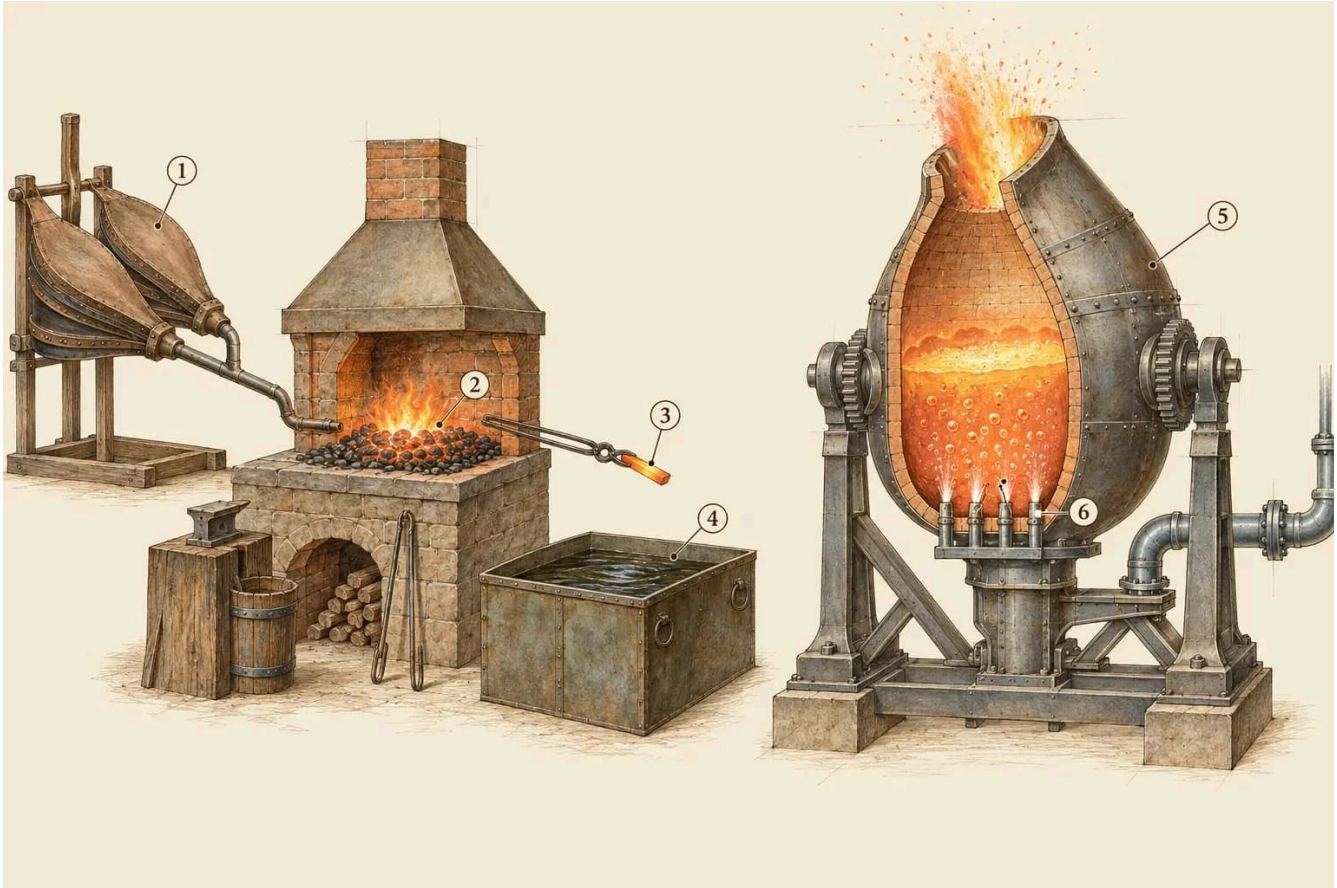
Aço

Ferro com a dose certa de carbono

c. 1.000 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Metalurgia do ferro (p. 136), Carvão vegetal (p. 65)

Conduz a: Motor de combustão interna (p. 313), Bússola (p. 193), Prensa de impressão (p. 205), Betão armado (p. 308), Máquina de costura (p. 270), Turbina a vapor (p. 325), Turbina hidráulica (p. 265), Turbina eólica (p. 339)



1 Foles 2 Forja 3 Aço quente seguro pela tenaz 4 Tina de têmpera 5 Conversor Bessemer
6 Algaravizes de ar no fundo do conversor

O aço é ferro com uma pequena parte de carbono, doseada, quase sempre entre cerca de 0,1 e 1,5 %. Forja-se a quente; com carbono suficiente, endurece quando é aquecido e temperado, e o revenido torna-o depois mais tenaz à custa de alguma dureza.

O que é

O ferro puro é macio: uma faca feita dele dobra e perde depressa o fio. Junta-se-lhe um pouco de carbono, de umas décimas por cento até cerca de um e meio, e o metal continua a forjar-se a quente. Com carbono suficiente, aquecido e mergulhado em água ou óleo, fica duro o bastante para cortar ferro. Essa liga é o aço.

Pelo seu carbono, fica a meio caminho entre outros dois materiais. O ferro forjado quase não tem carbono: é tenaz e solda-se bem, mas não endurece. O ferro fundido tem 2 a 4 %: vaza-se em moldes, mas é quebradiço e não se

forja. O aço, pelo contrário, passa de duro a tenaz conforme o ferreiro o aquece e arrefece. É hoje, de longe, o metal mais usado.

Como funciona

Os átomos de carbono são pequenos e alojam-se nos espaços entre os de ferro. O ferro frio retém muito pouco carbono, e o excesso forma carboneto de ferro, muito duro. Num aço arrefecido devagar, esse carboneto dispõe-se em lâminas finas alternadas com ferro macio: um conjunto resistente, que ainda se lima.

Acima de cerca de 727 °C, o cristal de ferro começa a reorganizar-se numa forma que dissolve o carbono, e, terminada a transformação, o íman deixa de o atrair. A temperatura e o tempo de manutenção necessários para dissolver carboneto suficiente dependem do tipo de aço. Se arrefecer devagar, o carbono volta a sair como carboneto. Se for temperado, não tem tempo: fica preso num cristal deformado, a martensite, muito dura e frágil como vidro.

Por isso faz-se o revenido: o aço é reaquecido entre cerca de 200 e 350 °C, a tensão alivia e o metal fica muito mais tenaz à custa de alguma dureza. No aço polido forma-se uma película fina de óxido cuja cor acompanha a temperatura, da palha clara por volta de 210 °C ao azul-escuro por volta de 290 °C, passando pelo castanho e pelo púrpura. Essas cores, que dependem também do tempo e do estado da superfície, foram durante séculos o guia aproximado do ferreiro: palha para uma navalha ou um formão, púrpura a azul para uma mola. O recozimento, que aquece e depois arrefece muito devagar, deixa pelo contrário o estado mais macio, fácil de serrar e limar.

Quando se aquece a haste, as cores avançam para o gume; o ferreiro arrefece a ferramenta quando lá chega a cor certa.

Abaixo de cerca de 0,3 % de carbono, o aço quase não endurece; com mais carbono fica mais duro e aguenta pior as pancadas. Um ferro metido em carvão vegetal e mantido ao rubro durante horas absorve carbono pela superfície. Temperado depois, ganha uma pele dura sobre um núcleo tenaz: é a cementação seguida de têmpera.

Como construir

O tratamento térmico é a parte da siderurgia ao alcance de uma pequena oficina. Convém partir de uma barra de aço de ferramentas não ligado, com muito carbono e de qualidade conhecida, e guardar a ficha do fornecedor, que indica as temperaturas, os tempos de estágio e o meio de têmpera exatos. Uma lima velha é a fonte tradicional, mas o seu aço é desconhecido e algumas limas baratas só estão endurecidas à superfície.

Amaciar e dar forma. Recozer a barra como indica a sua ficha. O método tradicional, levá-la ao rubro-escuro e deixá-la arrefecer uma noite inteira em cinza de madeira, é apenas aproximado. Desbastar a barra amaciada num pequeno punção ou escopro, sem a deixar aquecer.

Temperar. Aquecer por igual a ponta de trabalho num fogo de carvão vegetal ou com um maçarico a gás. O sinal antigo é o íman deixar de pegar, e depois um pouco mais de calor, até ao vermelho-cereja visto à sombra, mas a temperatura e o estágio indicados na ficha são mais fiáveis. Mergulhar a peça direita e inteira no meio de têmpera que ela indicar, em geral óleo para uma ferramenta pequena, num banho de vários litros mantido bem abaixo do seu ponto de inflamação. Mover a peça para cima e para baixo até arrefecer.

Verificar. Uma lima nova passada na ponta temperada deve escorregar sem morder. Se morder, talvez só a superfície tenha perdido carbono no fogo, ou a têmpera falhou: desbastar um pequeno ponto até brilhar e testar de novo antes de voltar a aquecer.

Revenir logo. A ficha indica a temperatura e o tempo de revenido, que um forno mantém melhor: um ciclo habitual é uma hora à temperatura, um arrefecimento até à temperatura ambiente e uma segunda hora. O método tradicional é mais rápido e apenas aproximado. Polir a ponta com lixa até o metal brilhar, aquecer devagar a haste e ver as cores avançarem para a ponta. Arrefecer a ferramenta quando o castanho ou o púrpura, por volta de 260–270 °C, chegar ao gume de um escopro, ou a cor de palha, por volta de 220 °C, ao de um formão.

> **Segurança.** O calor da forja causa queimaduras profundas, e o aço abaixo do rubro parece frio mesmo quando não está: tratar cada peça como quente. Usar óculos de proteção, com uma viseira por cima ao temperar, luvas de couro para manusear peças quentes mas nunca no esmeril, calçado de couro e roupa de algodão ou lã. Trabalhar ao ar livre ou com boa ventilação, porque a forja liberta monóxido de carbono e o óleo quente, fumo. Ter à mão um recipiente metálico para o óleo com tampa metálica, e mergulhar a peça inteira e depressa, o que limita as labaredas. Se pegar fogo, fechar a tampa; nunca deitar água sobre óleo a arder nem deixar entrar água no óleo quente. Ter perto um extintor de pó. Nunca bater, dobrar, deixar cair ou tentar partir um aço temperado e não revenido: pode estilhaçar e projetar lascas cortantes.

História e evolução

Fragmentos de Kaman-Kalehöyük, na Anatólia, de cerca de 1800 a.C., já contêm aço, provavelmente por acaso. Uma picareta de mineiro do monte Adir, na Galileia, durante muito tempo datada do século XII a.C., mostra uma estrutura temperada e levemente revenida, mas a sua data foi entretanto posta em dúvida. Nenhum achado fixa o início do fabrico deliberado de aço. Esta prancha adota por convenção a data de cerca de 1000 a.C., a época em que o ferro entrou no uso comum no Levante, entre cerca de 1100 e 900 a.C.

Um cadinho partido depois da cozedura e o bolo de aço que continha.

No sul da Índia, o ferro era fechado em cadinhos de barro com matéria rica em carbono e fundido em bolos uniformes com 1 a 1,5 % de carbono; os cadinhos de Kodumanal, no Tamil Nadu, datam de cerca do século II a.C. Esse aço de cadinho, a que os europeus chamaram depois wootz, é o das lâminas com desenhos ondulados conhecidas como aço de Damasco. No Sri Lanka, fornos nas encostas soprados pela monção produziram aço entre os séculos VII e XI, talvez para o comércio no oceano Índico.

A China seguiu ainda outro caminho. Um túmulo do estado de Yan, do início do século III a.C., já contém aço temperado, mas o ferro chinês era então sobretudo ferro fundido. Tirando-lhe carbono obtinham-se metais mais macios: mantido quente ao ar durante dias, ou mexido numa fornalha de afinação sob o sopro dos foles, o ferro fundido tornava-se aço ou ferro macio. As fornalhas de afinação escavadas datam do século I a.C.

A Europa moderna recorreu à cementação, desenvolvida primeiro na Alemanha. Em Derwentcote, em Inglaterra, a partir de cerca de 1730, barras de ferro sueco enterradas em carvão vegetal ficavam seis a dez dias acima de 1100 °C; o aço empolado era depois juntado em pacotes e caldeado na forja para o tornar mais uniforme. Por volta de 1740, o relojoeiro Benjamin Huntsman fundiu aço empolado em cadinhos e vazou-o num aço homogéneo.

Em 1856, Henry Bessemer soprou ar através de ferro-gusa fundido: o carbono e o silício arderam e o seu calor manteve o metal líquido. Nos anos 1860 vieram os fornos Siemens-Martin. Em 1952, em Linz, na Áustria, começaram a trabalhar conversores soprados com oxigénio puro; ainda produzem a maior parte do aço, enquanto os fornos elétricos, alimentados sobretudo com sucata, dão cerca de 29 %.

Na caixa de cementação, as barras de ferro passam uma semana ou mais no carvão e saem cobertas de bolhas.

Números-chave

Carbono
Cerca de 0,1–1,5 %; o ferro forjado tem menos, o ferro fundido 2–4 %

Cores de revenido
Palha por volta de 220 °C, púrpura por volta de 270 °C, azul-escuro por volta de 290 °C

Produção mundial em 2024
Cerca de 1,9 mil milhões de toneladas, 29 % em fornos elétricos

Calor de têmpera
A transformação começa por volta de 727 °C; cada qualidade tem a sua temperatura de têmpera e o seu tempo de manutenção à temperatura

Sopragem Bessemer
Cerca de 15 toneladas de ferro-gusa transformadas em aço em 10–20 minutos

Fontes

1. Iron and Steel in Early Europe · H. Föll, Kiel University https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_3_1.html
2. A Brief History of Martensites · Sethna group, Cornell University https://sethna.lassp.cornell.edu/Tweed/Martensite_History.html
3. The Transition from Bronze to Iron in Canaan: Chronology, Technology, and Context (Yahalom-Mack & Eliyahu-Behar, 2015) · Radiocarbon, Cambridge University Press https://doi.org/10.2458/azu_rc.57.18563
4. Early iron in China, Korea, and Japan (Wagner) · Donald B. Wagner https://donwagner.dk/KoreanFe/KoreanFe.html
5. Crucible steel in South India: preliminary investigations on crucibles from some newly identified sites (Srinivasan & Griffiths) · MRS Online Proceedings Library, Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-online-proceedings-library-archive/article/abs/crucible-steel-in-south-indiapreliminary-investigations-on-crucibles-from-some-newly-identified-sites/0C7F9DB996F0DD5758502D8F62201947
6. Wootz Crucible Steel: A Newly Discovered Production Site in South India (Srinivasan, 1994) · Papers from the Institute of Archaeology, UCL https://student-journals.ucl.ac.uk/pia/article/id/164
7. Wind-Powered Furnaces · Archaeology, Archaeological Institute of America https://archive.archaeology.org/9609/newsbriefs/srilanka.html
8. History of Derwentcote Steel Furnace · English Heritage https://www.english-heritage.org.uk/visit/places/derwentcote-steel-furnace/history/
9. A Crucible of Steel History · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/blog/a-crucible-of-steel-history
10. Bessemer Process · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Bessemer_Process
11. Bessemer Converter · Sheffield Museums https://www.sheffieldmuseums.org.uk/whats-on/bessemer-converter/
12. The history of LD steelmaking: back to the roots · Primetals Technologies https://www.primetals.com/en/metals-magazine/the-history-of-ld-steelmaking-back-to-the-roots/
13. 60 years of the Linz-Donawitz (LD) process · voestalpine https://www.voestalpine.com/stahl/en/Stories/60-years-of-the-Linz-Donawitz-LD-process
14. The share of EAF in global steel production in 2024 increased to 29.1% (worldsteel data) · GMK Center https://gmk.center/en/news/the-share-of-eaf-in-global-steel-production-in-2024-increased-to-29-1/
15. Austenitizing, Magnetism, and Heat Treating · Larrin Thomas, Knife Steel Nerds https://knifesteelnerds.com/2019/03/18/magnet-heat-treating/
16. Steel Tempering Temperatures: Colour Chart · West Yorkshire Steel https://westyorkssteel.com/technical-information/steel-heat-treatment/tempering-temperatures

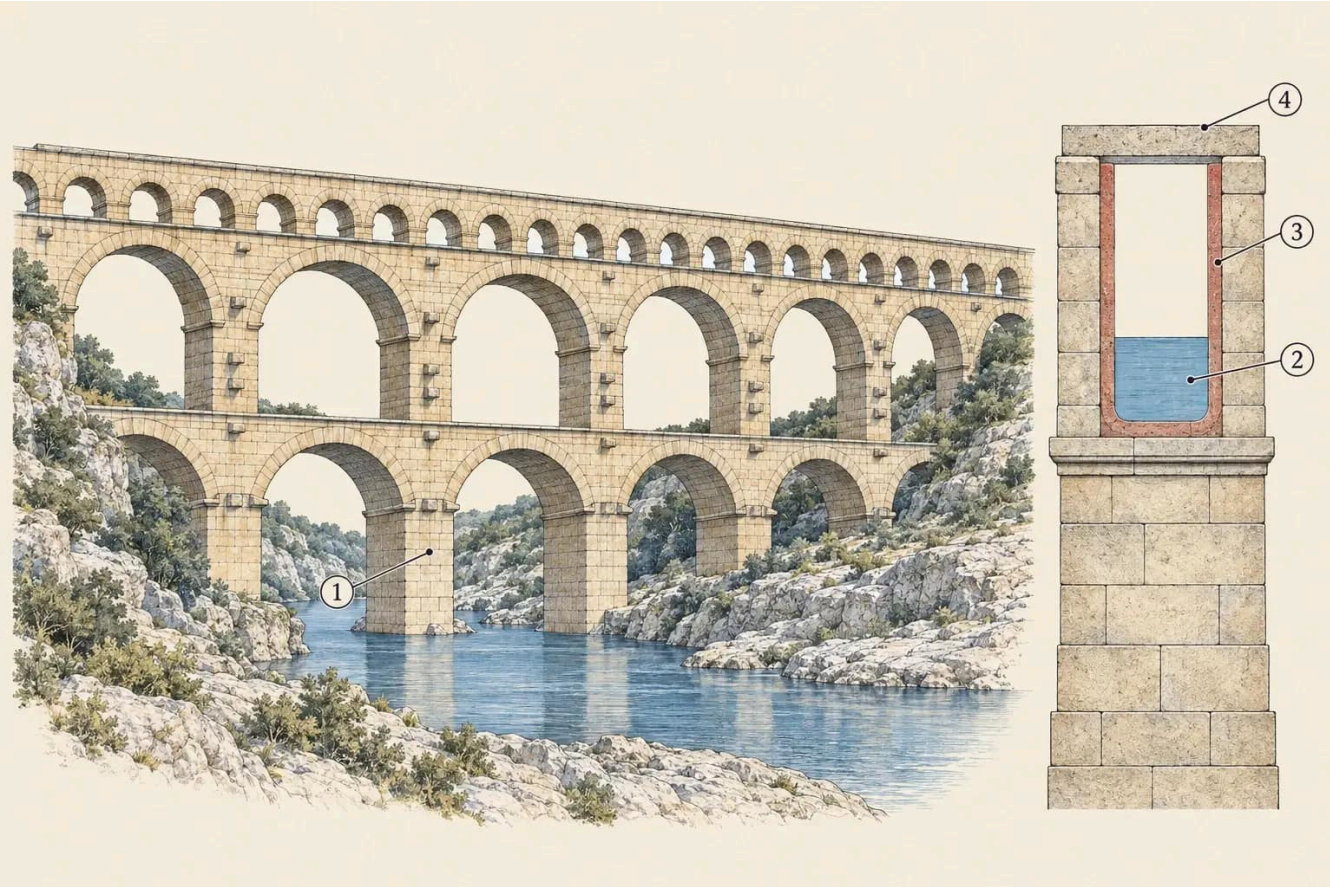
Factos verificados em 2026-10-14

Aqueduto

Água levada só pela gravidade

c. 690 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Tijolos (p. 40), Medidas e padrões (p. 127), Cal e argamassa de cal (p. 31), Irrigação (p. 52), Arco e abóbada (p. 73)



1 Arcarias (pilares e arcos) 2 Canal (specus) 3 Revestimento impermeável (opus signinum) 4 Lajes de cobertura

Um aqueduto leva a água de uma nascente distante até uma cidade por um canal que desce muito ligeiramente em todo o percurso, de modo que só a gravidade mantém a água em movimento. Os romanos construíram centenas, em túnel, em vala coberta ou sobre arcarias como a Pont du Gard, e alguns transportavam dezenas de milhares de metros cúbicos por dia.

O que é

Um aqueduto é um curso de água artificial que leva a água de uma nascente até ao sítio onde é usada. Quase todo o traçado fica escondido: um canal de pedra ou de betão, coberto, que corre numa vala ou num túnel a meia encosta. As altas arcarias que imaginamos primeiro são apenas os pontos onde o canal tinha de atravessar um vale sem perder altura.

A prancha mostra uma dessas travessias, do tipo construído sobre o rio Gardon, perto de Nîmes, no século I d.C. O canal corre no topo do andar mais alto.

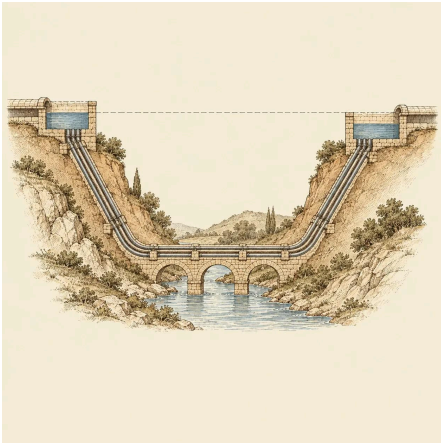
Como funciona

Onde a água corre num canal aberto, como acontece na maior parte de um aqueduto, o canal tem de descer sem interrupção da nascente até à cidade, sem nunca voltar a subir e sem cair depressa demais. Com pouca inclinação, a água abranda e deposita o lodo; com demasiada, desgasta o revestimento. O aqueduto de Nîmes, com cerca de 50 km, perde apenas 12 a 13 m entre a nascente e a cidade (as medições diferem um pouco), em média cerca de 25 cm por quilómetro, e bastante menos em alguns troços. Na própria Pont du Gard a descida é de poucos centímetros.

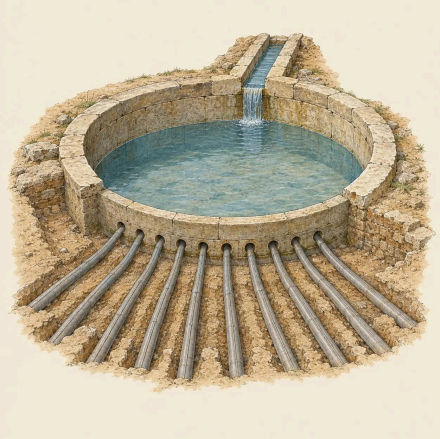
O canal, chamado specus, tinha em regra a largura de um homem e um pouco mais de altura, para que os operários pudessem entrar e limpá-lo. O fundo e as paredes levavam opus signinum, uma argamassa de cal com telha e cerâmica moídas que endurece e retém a água. Rebordos arredondados no pé das paredes fechavam os cantos, que é por onde começam as fugas. Lajes de pedra ou uma abóbada cobriam o conjunto, impediam a entrada de sujidade e de sol e evitavam que a água aquecesse.

Traçar uma inclinação assim ao longo de dezenas de quilómetros era trabalho de agrimensores. Vitrúvio, no final do século I a.C., descreve o corobate, uma longa mesa de madeira cujos fios de prumo, ou com vento uma ranhura cheia de água, mostram se está nivelada. Com ela e com balizas de mira, uma equipa transportava uma linha de nível através de toda a paisagem e marcava a inclinação em estacas.

Os vales profundos também podiam ser vencidos com um sifão invertido. A água entrava num tanque na primeira encosta, descia por tubos de chumbo estanques, atravessava o fundo do vale sobre uma ponte baixa e subia a encosta oposta até um segundo tanque colocado um pouco mais abaixo. Vitrúvio já descreve este dispositivo e chama venter, o ventre, ao longo troço quase horizontal que atravessa o fundo do vale. O sifão poupava alvenaria, mas o chumbo era caro e as juntas tinham de aguentar muita pressão. Segundo a tradução habitual, o seu texto prevê também respiros para deixar escapar o ar preso, embora o sentido exato do termo que usa seja discutido. Para as condutas correntes preferia o barro cozido, porque achava que a água que passava pelo chumbo fazia mal à saúde.



Um sifão invertido: a água volta a subir na outra encosta, mas nunca até ao nível de partida.



O tanque de distribuição circular de Nîmes, de onde dez tubos de chumbo levavam a água aos bairros.

Na cidade, a água chegava a um tanque de distribuição, o castellum. Vitrúvio descreve um dividido em três, com saídas separadas para os chafarizes públicos, as termas e as casas particulares, disposto de modo que os chafarizes fossem os últimos a ficar sem água. O que se conserva em Nîmes é um tanque redondo com cerca de 5,5 m de diâmetro, de onde dez tubos de chumbo seguiam para os bairros. A água corria dia e noite; a que não era usada ia lavar os esgotos. Vitrúvio acrescenta que as taxas pagas pelos particulares deviam custear a manutenção do aqueduto. Para Nîmes, as estimativas do caudal vão de cerca de 20 000 a 40 000 m^3 por dia, e a água levava cerca de um dia a chegar da nascente.

Como construir

Os grandes aquedutos romanos exigiam dinheiro público, agrimensores qualificados e equipas numerosas. À escala de uma horta, os mesmos princípios trazem sem bomba a água de uma nascente ou de uma cisterna de chuva até um charco ou um canteiro.

Medir os níveis. Marque a nascente e o ponto de chegada e meça a diferença de altura. Um tubo de plástico transparente cheio de água serve de corobate moderno: a água fica à mesma altura nas duas pontas. Crave estacas de poucos em poucos metros ao longo do traçado e anote a altura de cada uma.

O corobate: uma mesa de nivelamento com cerca de 20 pés romanos, verificada com fios de prumo ou com água numa ranhura.

Escolher a inclinação. Um canal liso com água limpa precisa em geral de alguns milímetros de descida por metro; dimensione-o para o caudal previsto e evite troços íngremes onde a água correria depressa demais. Reparta a descida tão por igual quanto o terreno permitir e prefira um desvio ao longo da curva de nível a uma lomba onde a água pararia.

Abrir a vala e assentar o canal. Abra a vala até às profundidades marcadas, calque o fundo e assente o canal: meias-canas de barro cozido, uma caleira de alvenaria revestida de argamassa de cal hidráulica ou de cimento, deixada a curar antes de receber água, ou um simples tubo. Verifique a inclinação com o tubo de água em cada junta. Se for de alvenaria, vede as juntas e arredonde os cantos interiores.

Juntar um tanque de decantação. Logo a seguir à nascente, construa um pequeno tanque onde a água abranda e deixa a areia antes de entrar no canal. Ponha uma grelha contra as folhas e um descarregador para que uma cheia não rebente a obra.

Cobrir. Feche o canal com lajes ou telhas. A água coberta mantém-se mais limpa e mais fresca, e criam-se nela menos algas.

> **Segurança.** As paredes de uma vala podem desabar, sobretudo em terreno solto ou molhado: escore-as ou incline-as antes de trabalhar numa vala funda, e nunca trabalhe lá dentro sozinho. Não use tubos nem soldadura de chumbo para água que pessoas ou animais vão beber, e considere a instalação como não potável: não beba a sua água. A argamassa de cal é cáustica: use luvas e óculos, e máscara contra poeiras ao misturar cal a seco. Qualquer tanque aberto é um risco de afogamento para crianças pequenas: vede-o ou cubra-o. Erguer arcos ou muros acima da cabeça é trabalho em altura com pedras pesadas: use um andaime a sério e peça conselho a um pedreiro.

História e evolução

As condutas de água são muito mais antigas do que Roma. O rei assírio Senaqueribe mandou construir, entre cerca de 703 e 690 a.C., um canal que levava água a Nínive; em Jerwan, atravessava um vale sobre uma ponte de calcário com mais de 280 m, muitas vezes apontada como a mais antiga ponte-aqueduto conhecida.

O primeiro aqueduto de Roma, a Aqua Appia, foi iniciado em 312 a.C. sob o censor Ápio Cláudio Cego, que também construiu a Via Ápia. Tinha cerca de 16,5 km e corria quase todo debaixo da terra. Seguiram-se o Anio Vetus em 272 a.C., a Aqua Marcia em 144 a.C., com mais de 90 km, e a Aqua Claudia e o Anio Novus, concluídos em 52 d.C. No final do século I, o imperador Nerva nomeou Frontino curador das águas; o seu tratado enumera nove aquedutos que serviam a cidade, com os seus comprimentos e as fraudes que lá descobriu.

A Pont du Gard foi provavelmente construída entre cerca de 40 e 60 d.C., embora alguns estudos alarguem o intervalo até 80. Os seus três andares têm 6, 11 e 35 arcos; outros 12 do andar superior perderam-se. Os grandes blocos de calcário dos seus arcos, alguns com até 6 toneladas, estão assentes sem argamassa. O aqueduto de Nîmes deixou de funcionar à medida que depósitos e raízes o entupiam, provavelmente por volta do século VI. A ponte sobreviveu em parte porque era usada para atravessar o rio; em 1743-1747 Henri Pitot encostou-lhe uma ponte rodoviária ao andar inferior, e é Património Mundial desde 1985.

Cidades e mosteiros medievais construíram aquedutos mais modestos, e os sistemas modernos combinam canais e túneis por gravidade com condutas sob pressão, bombas e reservatórios. Uma inclinação suave e constante continua a reger canais, esgotos e outras condutas onde a água corre por gravidade.

Números-chave

Primeiro aqueduto de Roma
Aqua Appia, 312 a.C., cerca de 16,5 km, quase todo subterrâneo

Pont du Gard
Cerca de 48 m de altura, três andares de arcos, construída por volta de 40-60 d.C.

Aqueduto de Nîmes
Cerca de 50 km para um desnível de 12 a 13 m (cerca de 25 cm por km)

Caudal estimado em Nîmes
Entre cerca de 20 000 e 40 000 m^3 por dia (as estimativas variam)

Fontes

1. Jerwan Aqueduct · Columbia University, Media Center for Art History https://mcid.mcah.columbia.edu/mapping-mesopotamian-monuments/jerwan-aqueduct
2. Frontinus, De aquis urbis Romae, Book I (trans. R. H. Rodgers) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Frontinus/De_Aquis/Rodgers/1**.html
3. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book VIII · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/8*.html
4. Pont du Gard · Structurae https://structurae.net/fr/ouvrages/pont-du-gard
5. Nîmes: the castellum · Archaeology Magazine (Archaeological Institute of America) https://archive.archaeology.org/onsite/provence/nimes2.html
6. Pont du Gard · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
7. Roman hydraulic engineering: the Pont du Gard aqueduct and Nemausus (Nîmes) castellum (Water, 2021) · MDPI https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/54
8. Hydraulics of Roman aqueducts: myths, fables, realities · University of Queensland (H. Chanson) https://staff.civil.uq.edu.au/h.chanson/rom_aq.html
9. Pont du Gard · Wikipédia https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_du_Gard
10. Manning's n table (after Chow, Open-channel hydraulics, 1959) · San Diego State University (V. M. Ponce) https://ponce.sdsu.edu/open_channel_hydraulics_05_manningsntable.html

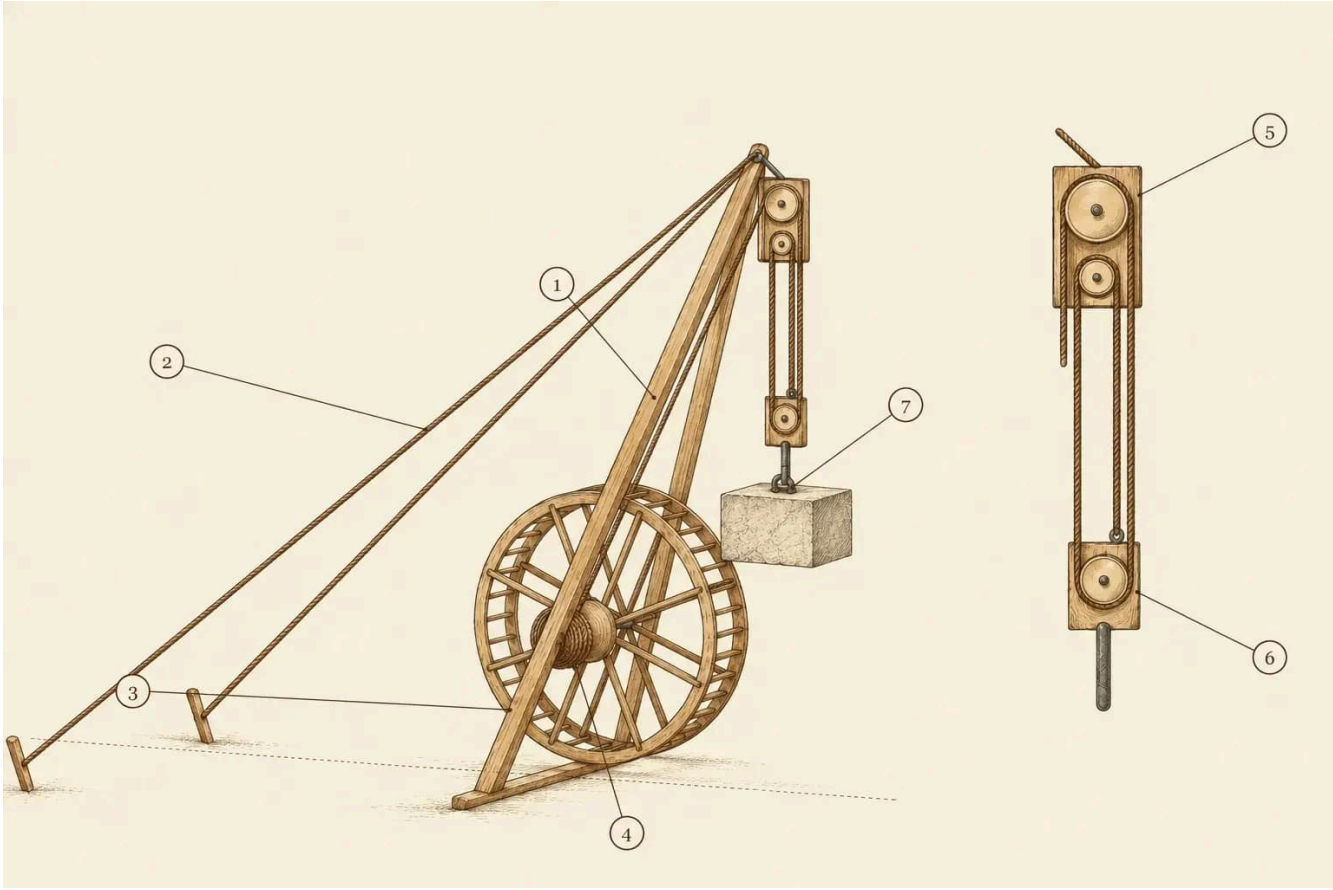
Factos verificados em 2026-10-12

Grua e roldana

Levantar mais do que se pesa

c. 515 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Corda e cordame (p. 13), Roda e eixo (p. 81)



1 Perna da armação de madeira 2 Espia 3 Roda de pisar 4 Tambor 5 Cadernal superior de duas roldanas 6 Moitão inferior de uma roldana 7 Loba encaixada na pedra

Uma grua levanta uma carga trocando distância por força: uma corda passa por várias roldanas e enrola-se num tambor movido por um sarilho ou por uma roda de pisar, de modo que poucas pessoas erguem uma pedra muitas vezes mais pesada do que elas. Os construtores gregos usavam-na desde finais do século VI a.C., e romanos e medievais usaram-na para construir templos e catedrais e para carregar navios.

O que é

Uma grua é uma estrutura que segura uma carga no ar enquanto pessoas ou máquinas a levantam. A grua antiga tinha três partes: uma armação de madeira ou um mastro preso por espias, um conjunto de roldanas no topo e um sarilho na base. O sarilho era um eixo horizontal rodado com alavancas, ou uma grande roda dentro da qual caminhavam homens: a roda de pisar.

Cada uma das suas partes, a alavanca, a roda e a corda, é mais antiga do que a grua. A grua junta-as para que a pequena força de poucas pessoas, aplicada ao longo de um percurso grande, se transforme numa força grande num percurso curto.

Como funciona

Uma roldana fixa sozinha só muda a direção do esforço. O ganho aparece quando a carga fica pendurada numa roldana móvel. A corda passa a segurá-la por dois troços, e cada um suporta metade do peso. Para subir a pedra um metro é preciso puxar dois metros de corda, mas com metade do esforço.

A talha mais simples: dois troços de corda seguram a roldana móvel, e basta puxar com cerca de metade do peso.

Juntando roldanas aos dois cadernais, a carga reparte-se por mais troços. Vitrúvio, no final do século I a.C., dá nome às talhas conforme o número de roldanas: três no trispastos, cinco no pentaspastos e muitas no polyspastos. Com cinco troços, uma força igual ao peso de 20 kg segura cerca de 100 kg, sem contar o atrito. O atrito nos eixos das roldanas come parte do ganho, e tanto mais quantas mais roldanas se juntam.

O sarilho multiplica a força uma segunda vez. Uma corda enrolada num eixo fino rodado com alavancas compridas funciona como um sarilho de roda: se as alavancas forem dez vezes mais compridas do que o raio do eixo, a força na corda é dez vezes a que se faz nas alavancas. A roda de pisar funciona da mesma maneira, sendo o esforço o peso dos homens que caminham lá dentro. Para cargas muito pesadas, Vitrúvio descreve um tambor largo o bastante para que os homens caminhem lá dentro, mais potente do que um cabrestante.

Tenazes de içagem gregas: ao puxar a argola, as pontas apertam-se nos entalhes abertos no bloco.

É ainda preciso agarrar a carga. Os construtores gregos abriam nos blocos furos ou canais em U para as cordas, usavam tenazes de ferro cujas pontas entravam em furos laterais ou metiam uma loba, uma cunha de ferro em rabo de andorinha, num furo na face de cima. Estes entalhes, ainda visíveis nas pedras dos templos, são a principal prova do uso de gruas. Vitrúvio descreve tenazes de ferro penduradas sob o cadernal inferior, com os dentes encaixados em furos da pedra. As gruas de obra deste tipo tinham pouco alcance lateral, por isso o bloco era pousado perto do seu lugar e empurrado com alavancas até à posição.

Como construir

Uma maqueta de mesa mostra como as roldanas e o sarilho multiplicam a força. Mantenha-a pequena: é uma demonstração, não um aparelho de içagem.

Montar a armação. Ate perto do topo duas cavilhas de madeira ou cabos de vassoura com cerca de 1 m, afaste os pés uns 50 cm sobre uma tábua de base e aparafuse-os. Prenda a tábua com grampos a uma mesa firme para a maqueta não poder tombar, e estique dois cordéis do topo até argolas na parte de trás da tábua, para que a armação fique ligeiramente inclinada para a frente mas a carga continue por cima da tábua.

Montar a talha. Pendure no topo um pequeno cadernal de duas roldanas e, por baixo, um moitão de uma roldana. Ate um cordel resistente ao topo do moitão, passe-o por cima de uma roldana de cima, por baixo da roldana de baixo e por cima da segunda roldana de cima. Três troços seguram agora o moitão.

Juntar um sarilho. Fure cada perna perto da base e passe pelos dois furos uma cavilha curta que rode livremente; cole uma manivela numa ponta; a ponta livre do cordel será atada ao meio depois do primeiro ensaio abaixo. Fure uma perna para um pino amovível: com o pino posto, a manivela encosta nele e segura a carga. Não largue a manivela sempre que tirar o pino para continuar a enrolar.

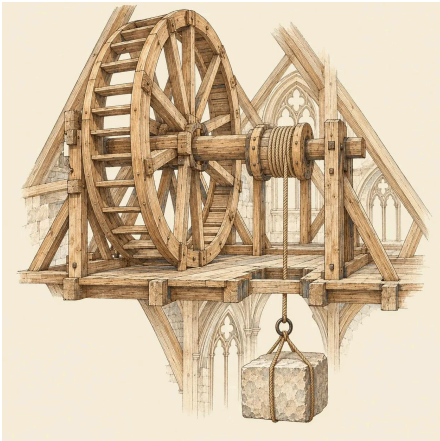
Medir o ganho. Faça este primeiro ensaio antes de atar o cordel à cavilha. Pese o moitão e pendure nele um saco de areia com 500 g no máximo. Puxe devagar e de forma regular a ponta livre com um dinamómetro, levantando o saco só algumas dezenas de centímetros: deve ler um pouco mais de um terço do peso do saco e do moitão juntos; o resto é atrito. Pouse o saco, ate o cordel ao meio da cavilha e compare o percurso da manivela com o que o saco sobe.

> **Segurança.** Mantenha a mão na manivela enquanto a carga estiver levantada: um eixo simples anda para trás assim que se larga. Ponha a maqueta onde um saco que caia não atinja mãos nem pés, e mantenha os dedos longe das roldanas e do eixo de enrolamento. Não aumente a maqueta para levantar objetos pesados: uma içagem a sério exige equipamento homologado para subir e descer cargas suspensas, usado por pessoas com formação em içagem.

História e evolução

A roldana aparece num relevo assírio do século IX a.C. No século VII a.C., construtores gregos abriam canais para cordas em blocos de 200 a 400 kg em Ístmia e Corinto, e alguns investigadores pensam que já se experimentavam armações de içagem. As gruas tornam-se comuns nas obras gregas por volta de 515 a.C., quando surgem entalhes para tenazes e para lobas em templos como o de Apolo em Delfos. A primeira descrição escrita clara da talha está nos Problemas mecânicos, um texto grego do início do século III a.C.

Os construtores romanos usavam tanto o sarilho como a roda de pisar. Um relevo do túmulo da família dos Haterii, em Roma, esculpido por volta de 100 d.C., mostra uma grua de roda a trabalhar. Segundo estimativas modernas, que supõem uma talha de três filas de cinco roldanas, a maior grua de talhas, o polyspastos, levantava cerca de 3 toneladas com quatro homens no sarilho, e cerca de 6 com uma roda de pisar. Os blocos romanos mais pesados, como as arquitraves de Baalbek, exigiam várias gruas ou outros meios.



Uma roda de pisar medieval instalada por cima das abóbadas: a corda desce do tambor por uma abertura no soalho.

As rodas de pisar reaparecem nas contas de obras francesas por volta de 1225, e há gruas portuárias documentadas em Utrecht em 1244, Antuérpia em 1263 e Bruges em 1288. Os construtores góticos manobravam muitas vezes os seus engenhos a partir do madeiramento do telhado, por cima das abóbadas em construção, e em torres de igrejas inglesas ainda se conservam várias rodas de pisar medievais. A grande grua do porto de Gdańsk, construída em 1442-1444, ardeu em 1945 e o seu madeiramento foi reconstruído. Em 1586, Domenico Fontana ergueu o obelisco do Vaticano, estimado entre 330 e 360 toneladas, com uma torre de içagem de madeira. A partir de 1801, duas máquinas a vapor moveram as gruas que construíram o London Dock, em Londres, e na década de 1840 William Armstrong construiu gruas hidráulicas movidas a água; vieram depois os motores elétricos e as lanças de aço, mas as gruas continuam a levantar com cadernais e um tambor.

Números-chave

Indício seguro mais antigo

Entalhes de içagem em blocos de templos gregos, por volta de 515 a.C.

Grua do porto de Gdańsk

Construída em 1442-1444, madeiramento reconstruído depois de 1945

Polyspastos romano (estimativa moderna)

Cerca de 3 t com quatro homens no sarilho, cerca de 6 t com roda de pisar

Obelisco do Vaticano, 1586

Entre cerca de 330 e 360 t (as estimativas variam), erguido por Domenico Fontana

Fontes

1. J. J. Coulton, Lifting in early Greek architecture (Journal of Hellenic Studies 94, 1974) · Society for the Promotion of Hellenic Studies (copy hosted by the University of Athens) https://eclass-b.uoa.gr/modules/document/file.php/BAAG112/630416_Lifting%20in%20Early%20Greek%20Architecture_Coulton_Journal%20of%20Hellenic%20Studies1974.pdf
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book X (hoisting machines) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. Greek temple ruins suggest lifting machines in use 1.5 centuries earlier than previously believed · University of Notre Dame, via Newswise https://www.newswise.com/articles/greek-temple-ruins-suggest-lifting-machines-in-use-1-5-centuries-earlier-than-previously-believed
4. Rochester Bridge Trust magazine: John Rennie and the London Dock (steam engines working the construction cranes, 1801) · Rochester Bridge Trust https://rbt.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/RBT-40pp-A4-Magazine-Single-Pages-Updated.pdf
5. Crane (machine) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)
6. Treadwheel crane · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Treadwheel_crane
7. Treadwheel crane, Harwich (built 1667): wheels of 16 ft on an axle of 13½ in · The Harwich Society https://www.harwich-society.co.uk/maritime-heritage-trail/treadwheel-crane/
8. Block and tackle (friction: the sheave friction factor of API RP 9B) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Block_and_tackle
9. Human power (sustained output of a labourer, after Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Human_power

Factos verificados em 2026-10-12

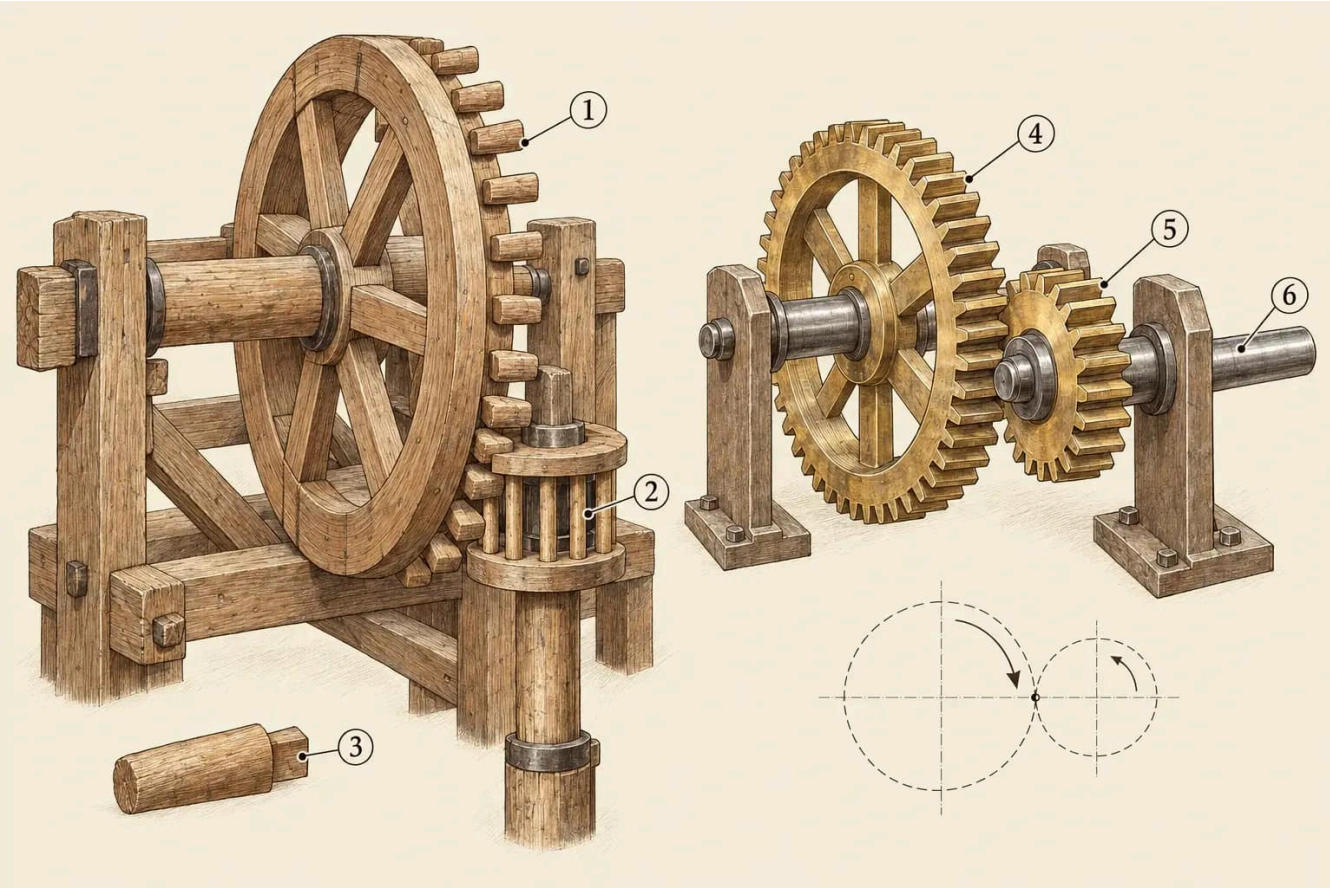
Engrenagens

Dentes que trocam velocidade por força

c. 300 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Bronze (p. 123)

Conduz a: Relógio mecânico (p. 201), Máquina de costura (p. 270), Máquina a vapor (p. 227), Roda hidráulica (p. 157), Moinho de vento (p. 185)



1 Entrosga com dentes de madeira 2 Lanterna 3 Dente de madeira solto 4 Roda dentada reta 5 Pinhão 6 Eixo

Uma engrenagem é uma roda com dentes que encaixam nos dentes de outra roda, de modo que um eixo pode acionar outro sem escorregar. Escolhendo o número de dentes, o construtor troca velocidade por força, muda o sentido do movimento ou mantém uma relação exata.

O que é

Uma engrenagem é uma roda com dentes à volta do rebordo. Quando estes encaixam nos de outra roda, girar uma obriga a outra a girar, sem escorregar. Movem moinhos, relógios, bicicletas e caixas de velocidades de automóveis.

Uma roda pequena que aciona uma grande fá-la girar mais devagar, mas com mais força de rotação (binário ou torque). Duas rodas retas engrenadas giram em sentidos opostos, e uma entrosga ou uma engrenagem cónica desvia o movimento em ângulo reto. Como os dentes não escorregam, um trem de engrenagens mantém a relação durante anos, e um relógio depende disso.

Como funciona

Tomemos duas rodas engrenadas de 60 e 15 dentes. Cada vez que um dente da grande passa pelo ponto de contacto, passa também um da pequena, e assim uma volta da grande dá quatro da pequena. A relação de velocidades é a dos números de dentes. A potência que entra sai, menos o atrito, e por isso o binário varia ao contrário: a pequena gira quatro vezes mais depressa com um quarto do binário.

A prancha mostra duas famílias. À esquerda, a engrenagem de madeira de um moinho: uma entrosga, com cavilhas chamadas dentes cravadas numa das faces do aro, aciona uma lanterna feita de fusos redondos entre dois discos. Um dente gasto arranca-se à pancada e substitui-se sozinho. À direita, rodas dentadas retas de metal, de dentes perfilados, em eixos paralelos.

Com cavilhas simples, a roda movida acelera e abranda um pouco sempre que um dente engata e se solta, o que traz ruído, vibração e desgaste. Para uma relação constante, os flancos têm de seguir curvas tais que o impulso entre dois dentes passe sempre pelo mesmo ponto da linha entre os eixos. A cicloide, há muito usada nos relógios, cumpre esta condição. A evolvente também: é a curva que descreve a ponta de um fio esticado ao desenrolar-se de um círculo. As engrenagens de evolvente mantêm a relação mesmo com os eixos um pouco afastados demais, e são mais fáceis de talhar, por isso quase todas as modernas a usam.

Cada volta do sem-fim faz avançar a roda apenas um dente.

O sem-fim é um parafuso que engrena com uma roda dentada. Pode ter uma ou várias entradas de rosca. O da figura tem uma só e faz avançar a roda um dente por volta, dando uma redução de 30 para 1 com uma roda de 30 dentes. A possibilidade de a roda acionar o parafuso em sentido inverso depende da geometria e do atrito. As vibrações podem anular o autobloqueio, pelo que as talhas e os guinchos de elevação precisam de um travão independente que sustente a carga. A cremalheira, uma barra reta dentada, transforma a rotação em movimento retilíneo.

Como se constrói

Engrenagens de metal precisas exigem um torno com prato divisor ou uma máquina de talhar. Uma entrosga e uma lanterna de madeira, aqui esboçadas, fazem-se com ferramentas manuais.

Escolher a relação. Definir os números de dentes pela velocidade de saída pretendida, por exemplo 45 dentes e 8 fusos, cerca de 5,6 para 1. Números sem fator comum repartem o desgaste, porque cada dente encontra todos os fusos à vez.

Marcar o passo. Dentes e fusos têm de ter exatamente o mesmo espaçamento, o passo, medido no círculo primitivo de cada roda. Traçar o círculo e dividi-lo com o compasso; um milímetro de erro por passo soma-se a toda a volta.

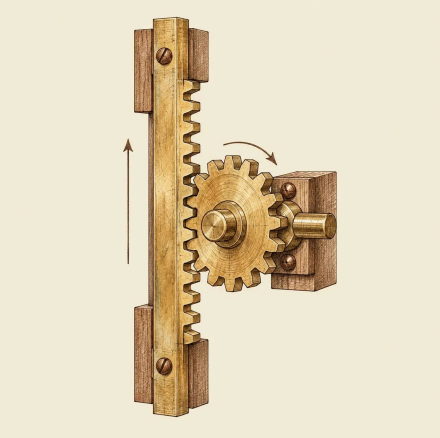
Fazer a roda. Construir o aro em madeira dura bem seca, como o carvalho, com segmentos sobrepostos para que a fibra acompanhe a curva, e fixá-lo a braços embutidos em mortagens que atravessam o eixo. Abrir um furo em cada marca e cravar dentes de madeira densa e resistente, com uma espiga que atravessa o aro, encunhada por trás. Arredondar as pontas que trabalham.

Fazer a lanterna. Fixar dois discos no eixo, furá-los sobre o mesmo círculo primitivo e cravar fusos redondos entre eles.

Acertar o engrenamento. Montar os dois eixos em apoios sólidos, para que os dentes entrem até meio nos intervalos entre fusos, com alguma folga. Rodar devagar à mão, marcar com giz os pontos que prendem e desbastá-los. Untar os dentes com sebo.

> **Segurança.** Engrenagens em movimento puxam dedos, cabelo e roupa solta no ponto em que os dentes se juntam. Colocar uma proteção, prender o cabelo e as mangas, e nunca meter a mão numa engrenagem que possa girar: primeiro parar e travar a transmissão.

História e evolução



Pinhão e cremalheira transformam a rotação em movimento retilíneo.

Os *Problemas Mecânicos*, escritos na escola de Aristóteles por volta de 280 a.C., descrevem rodas em contacto que giram em sentidos opostos, mas não falam de dentes. Talvez fossem rodas lisas movidas por atrito. As mais antigas engrenagens conservadas são pequenas rodas de metal do período dos Reinos Combatentes, na China do século IV a.C., guardadas no museu de Luoyang.

Em Alexandria, no século III a.C., Ctesíbio construiu um relógio de água em que uma boia, ao subir, movia uma haste e tambores com dentes iguais, segundo descreveu mais tarde Vitrúvio. Atribui-se a Arquimedes o sem-fim, por volta de 250 a.C.

O maior fragmento do mecanismo de Anticítera, com a roda principal de quatro raios.

Em 1901, mergulhadores encontraram num naufrágio, ao largo da ilha grega de Anticítera, o mais complexo conjunto de engrenagens antigo conhecido. O mecanismo, feito no século II ou I a.C., sobrevive em 82 fragmentos que contêm 30 rodas dentadas de bronze, cerca de um terço da máquina original. Acionado à mão, mostrava as posições do Sol, da Lua e dos planetas e previa eclipses.

Por volta de 25 a.C., Vitrúvio descreveu um moinho de água em que um tambor dentado no eixo da roda movia uma roda horizontal maior, que fazia girar a mó. Entrosgas e lanternas deste tipo moveram os moinhos durante os quinze séculos seguintes. Os relógios mecânicos espalharam-se pela Europa a partir de cerca de 1300. A construção do relógio astronómico de Giovanni de' Dondi é tradicionalmente datada de 1348–1364, mas as datas são discutidas: o museu de ciência e tecnologia de Milão aponta 1365–1380. Na década de 1490, Leonardo da Vinci desenhou perfis de dentes nos cadernos hoje chamados Códices de Madrid.

Philippe de La Hire analisou as curvas dos dentes por volta de 1694, e cerca de 1754 Leonhard Euler formulou a regra que os dentes devem seguir para uma relação constante. No século XIX, engrenagens de ferro fundido e depois de aço talhado à máquina moveram as fábricas, e a evolvente substituiu a cicloide na maior parte das máquinas.

Números-chave

Relação de velocidades

Fixada pelo número de dentes: uma roda de 60 dentes que aciona uma de 15 faz a pequena girar 4 vezes mais depressa

Engrenagens mais antigas conservadas

China, período dos Reinos Combatentes (século IV a.C.)

Mecanismo de Anticítera

30 rodas dentadas de bronze conservadas, séculos II ou I a.C.

Teoria dos dentes

La Hire (c. 1694) e Euler (c. 1754) determinaram as curvas para uma relação constante

Fontes

1. Gear · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gear
2. A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism (Freeth et al., 2021) · Scientific Reports https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7955085/
3. Geared power transmission technology (J. J. Coy, 1983) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19830011851
4. Vitruvius, De architectura, Book IX, chap. 8 (Ctesibius's water clock) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/9*.html
5. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
6. Self-locking of worm gear reducers · Tsubakimoto Chain https://tt-net.tsubakimoto.co.jp/tecs/engd/gen/engd_gen_ggm_gis_sfl.asp?lang=en
7. KWG Ground Worms and Worm Wheels: specifications · KHK Gears https://khkgears.net/pdf/kwg.pdf
8. L'Astrario di Giovanni Dondi · Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci https://artsandculture.google.com/story/l%E2%80%99astrario-di-giovanni-dondi-museo-nazionale-della-scienza-e-della-tecnologia-leonardo-da-vinci/0gURs225ZTyrJA?hl=it
9. Engrenage · Office québécois de la langue française https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2091942/engrenage
10. Machinists' and Draftsmen's Handbook (Lobben, 1910), p. 325: a derrick crab worked out · Project Runeberg https://runeberg.org/lobben/0345.html
11. Effect of geometry and operating conditions on spur gear system power loss (Anderson and Loewenthal, NASA TM-81426, 1980) · NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/19800010132
12. Human power: comfortable one-hand cranking (Jansen and Slob, ICED 03, 2003) · The Design Society https://www.designsociety.org/download-publication/23972/human_power_comfortable_one-hand_cranking

Factos verificados em 2026-10-12

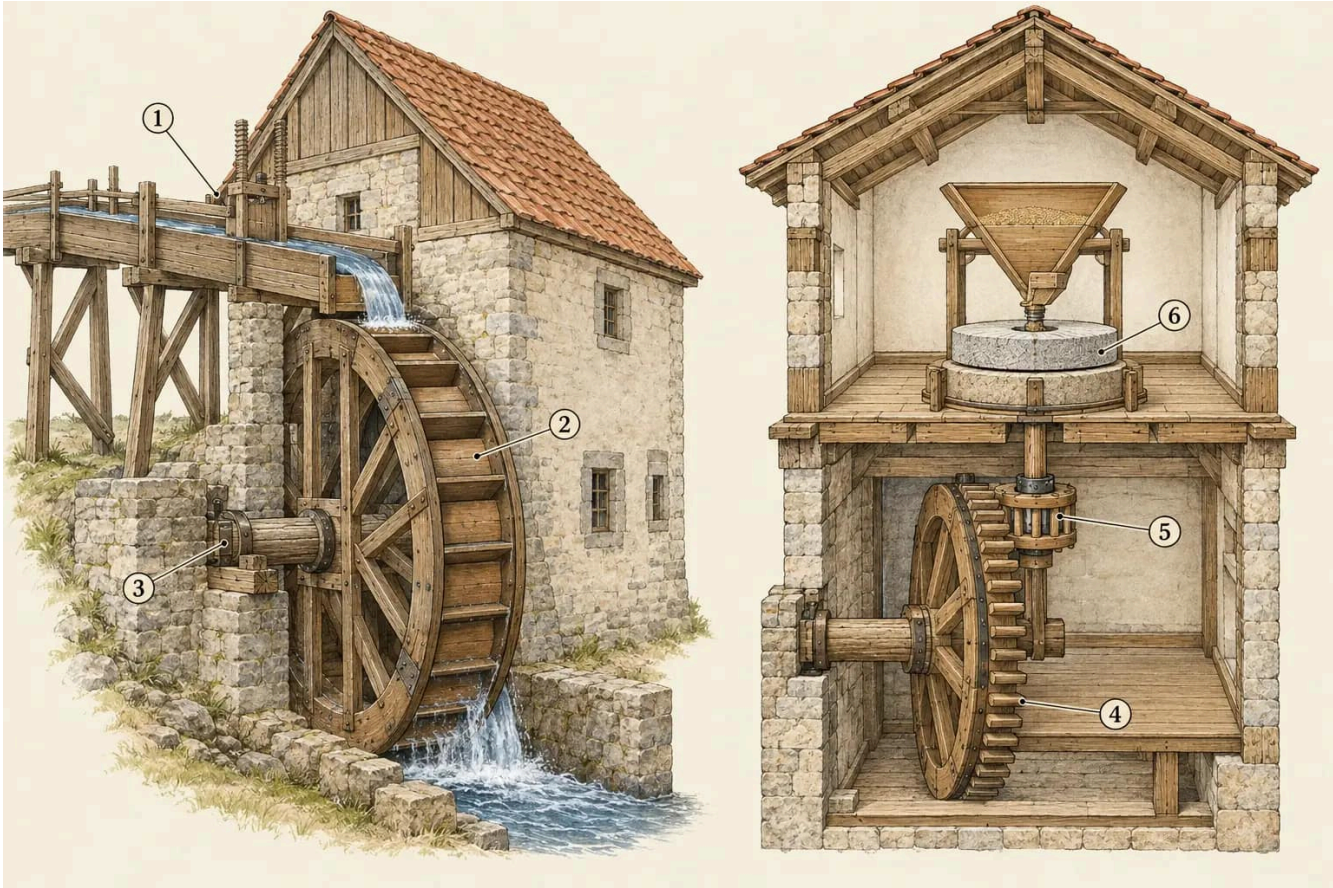
Roda hidráulica

Um rio transformado em trabalho

c. 300 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Roda e eixo (p. 81), Engrenagens (p. 153)

Conduz a: Turbina hidráulica (p. 265), Moinho de vento (p. 185)



1 Calha e comporta 2 Copos 3 Eixo 4 Roda dentada do eixo 5 Lanterna 6 Mós

Uma roda hidráulica transforma a corrente ou a queda da água em rotação, que engrenagens transmitem depois a mós, martelos, foles ou bombas. Entre o século III a.C. e o século XIX, foi a principal fonte de energia mecânica a seguir à força humana e animal.

O que é

Uma roda hidráulica tem pás ou copos que a água em movimento faz girar, e o seu eixo aciona máquinas. Durante dois mil anos moeu cereal. A partir da Idade Média passou também a pisoar tecidos, serrar madeira, mover foles e martelos de forja e bombear a água das minas.

A roda de alimentação inferior mergulha as pás numa corrente, que as empurra. Os modelos tradicionais simples dispensam barragem e convertem em trabalho apenas uma pequena parte da energia disponível. A roda de alimentação superior, ou de copos, como a desta prancha, recebe água por cima, de um canal, e gira com o peso da água nos copos. Exige uma queda pelo menos da altura da roda. Um desnível natural com uma tomada de água e um canal pode bastar; a barragem e o reservatório são opcionais. A roda de peito recebe água à altura do

eixo. O rendimento depende da construção e da alimentação de água; as rodas de alimentação inferior melhoradas também podem alcançar rendimentos elevados.

Uma roda de alimentação inferior: a corrente empurra as pás mais baixas.

Como funciona

A água represada guarda energia graças à sua altura. No moinho de alimentação superior, a calha (1), um canal de madeira, leva-a por cima da roda, e uma comporta permite ao moleiro soltar a roda, pará-la e regular a velocidade. A água cai nos copos (2) do lado que desce. Esse lado fica pesado e o outro vazio, e a roda gira devagar, a poucas rotações por minuto. Os copos retêm a água o mais possível e despejam-na perto do fundo, no canal de descarga.

A potência hidráulica disponível é $P = \rho g Q H$: massa volúmica da água ρ multiplicada pela aceleração da gravidade g, pelo caudal volumétrico Q e pela altura da queda H. Com uma massa volúmica de cerca de 1000 kg/m^3 e g = 9,81 m/s^2, um caudal de 100 litros por segundo (0,1 m^3/s) e uma queda de quatro metros dão cerca de 3,92 kW antes das perdas. Uma roda de copos bem construída converte a maior parte em trabalho no eixo.

No moinho de roda horizontal não há engrenagens: o eixo da roda é o próprio eixo da mó.

Dentro do moinho, o eixo (3) leva uma grande roda dentada (4), cujos dentes acionam a pequena lanterna (5) num veio vertical. Como num moinho de vento, o movimento passa de horizontal a vertical e acelera, porque a roda é lenta e a mó de cima tem de girar muito mais depressa. Essa mó andadeira (6) mói o grão, que cai de uma tremonha, contra o pouso, a mó fixa de baixo.

Há moinhos sem engrenagem nenhuma. No moinho de roda horizontal, ou de rodízio, usado durante muito tempo na Irlanda, na Escandinávia e em torno do Mediterrâneo, uma pequena roda deitada sob o chão recebe o jato de uma calha muito inclinada, e o seu eixo vertical faz girar diretamente a mó andadeira. Os modelos tradicionais simples são baratos e convertem em trabalho uma parcela relativamente pequena da energia disponível. As rodas horizontais melhoradas podem alcançar rendimentos elevados.

Como se constrói

Este esboço é de uma pequena roda de copos para acionar uma bomba ou máquina ligeira. Captar água de um ribeiro costuma exigir autorização.

Encontrar a queda. Procurar um ribeiro com um desnível de dois metros ou mais. Abrir um canal, a levada, que parta do ribeiro a montante com inclinação muito suave e chegue à roda bem acima do leito.

Dimensionar a roda. Fazer a roda um pouco menor do que a queda, para a água cair um pouco até ao copo de cima. A largura depende do caudal. Copos cheios só em parte derramam mais tarde.

Construir o eixo e os braços. Usar um eixo de carvalho, esquadriado onde se fixam os braços, com espigões de ferro nas pontas, que giram em apoios de madeira dura ou de bronze assentes em pilares de pedra ou de betão.

Fazer as coroas e os copos. Fixar os copos inclinados entre dois anéis de tábuas, as coroas, e fechar o lado interior com tábuas. Molhar a roda antes do uso, para a madeira inchar e vedar as juntas.

Instalar a calha e a comporta. Levar a água ao topo da roda numa calha de madeira sobre cavaletes, com uma comporta corrediça e um descarregador que desvie a água da roda parada. Verificar o equilíbrio da roda e abrir a comporta aos poucos.

> **Segurança.** Uma roda carregada é pesada e não para de imediato: nunca subir para ela nem meter as mãos lá dentro enquanto gira. Antes da manutenção, cortar a alimentação de água, bloquear a comporta contra a reabertura e desviar eventuais fugas para longe da roda. Confirmar que a roda parou completamente. A partir de um local seguro, escoar a água retida e imobilizar a roda e as máquinas acionadas com dispositivos adequados às cargas restantes, para que a energia acumulada não as possa mover. Uma pessoa competente deve preparar e verificar este isolamento. A água rápida de um canal pode derrubar e afogar um adulto: cercar o canal de descarga e nunca trabalhar lá sozinho. Cobrir todas as engrenagens acessíveis com proteções que impeçam o contacto com mãos e roupa.

História e evolução

As primeiras rodas elevavam água. No século III a.C., Fílon de Bizâncio descreveu uma roda com compartimentos usada para regar no Egito. O historiador M. J. T. Lewis defende que os moinhos de cereal movidos a água surgiram no mesmo século, primeiro com eixo vertical e depois com eixo horizontal. A primeira descrição clara de um moinho de água com engrenagens é de Vitrúvio, por volta de 25 a.C.: uma roda de alimentação inferior aciona a mó através de um tambor dentado e de uma roda horizontal maior.

Em Barbegal, perto de Arles, no sul de França, os romanos construíram duas filas de oito rodas de copos pela encosta abaixo, alimentadas por um aqueduto. O conjunto foi construído no século II d.C. Na China, em 31 d.C., Du Shi acionou com a força da água os foles das fundições de ferro.

No Norte de África e no Próximo Oriente, a nora, uma grande roda movida pela corrente com potes presos ao aro, elevava água para canais de rega e abastecia as cidades. No século X, o médico al-Razi descreveu uma, no Iraque, que elevava cerca de 153 000 litros por hora.

Uma nora: a corrente faz girar a roda, e a roda ergue uma parte do rio.

Os moinhos de água multiplicaram-se na Europa medieval. O levantamento Domesday de 1086 contou cerca de seis mil em Inglaterra, e as rodas passaram a mover pisões, serras, foles de forja e martinetes.

Na década de 1750, o engenheiro inglês John Smeaton ensaiou modelos de rodas. Com energia hidráulica disponível comparável, os seus modelos de copos produziram pelo menos o dobro do trabalho dos seus modelos de alimentação inferior. Publicou os resultados em 1759. Esta proporção refere-se aos modelos ensaiados e não se aplica a todas as rodas hidráulicas. A roda de Laxey, na ilha de Man, concluída em 1854 para bombear água das minas de Laxey, tem 22,1 metros de diâmetro. A partir de 1827, a turbina de Benoît Fourneyron começou a substituir a roda, e as turbinas das centrais hidroelétricas modernas descendem dela.

Números-chave

Primeira descrição
Fílon de Bizâncio, século III a.C. (uma roda para elevar água)

Alimentação superior ou inferior
Rendimento pelo menos duplo com alimentação superior nos ensaios de Smeaton, com energia hidráulica disponível comparável (1759)

Inglaterra, 1086
Cerca de 6000 moinhos no levantamento Domesday

Maior roda em funcionamento
Laxey, ilha de Man: 22,1 m de diâmetro, construída em 1854

Fontes

1. Water wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel
2. Vitruvius, De architectura, Book X, chap. 5 (water wheels and mills) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
3. The Scientists, the Engineers, and the Water Wheel · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-scientists-the-engineers-and-the-water-wheel
4. Great Laxey Wheel · Manx National Heritage https://manxnationalheritage.im/?p=18117
5. John Smeaton · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/John_Smeaton
6. Providing and using work equipment safely: A brief guide · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pubns/indg291.pdf
7. The second century CE Roman watermills of Barbegal: Unraveling the enigma of one of the oldest industrial complexes · Science Advances, American Association for the Advancement of Science https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6124920/
8. Waterwheel · Energy Education, University of Calgary https://www.energyeducation.ca/encyclopedia/Waterwheel
9. Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations · Politecnico di Torino, institutional repository https://iris.polito.it/handle/11583/2712517
10. High hydraulic performance in horizontal waterwheels · Universitat de Girona, Research Portal https://recerca.udg.edu/en/publications/high-hydraulic-performance-in-horizontal-waterwheels/

Factos verificados em 2026-10-12

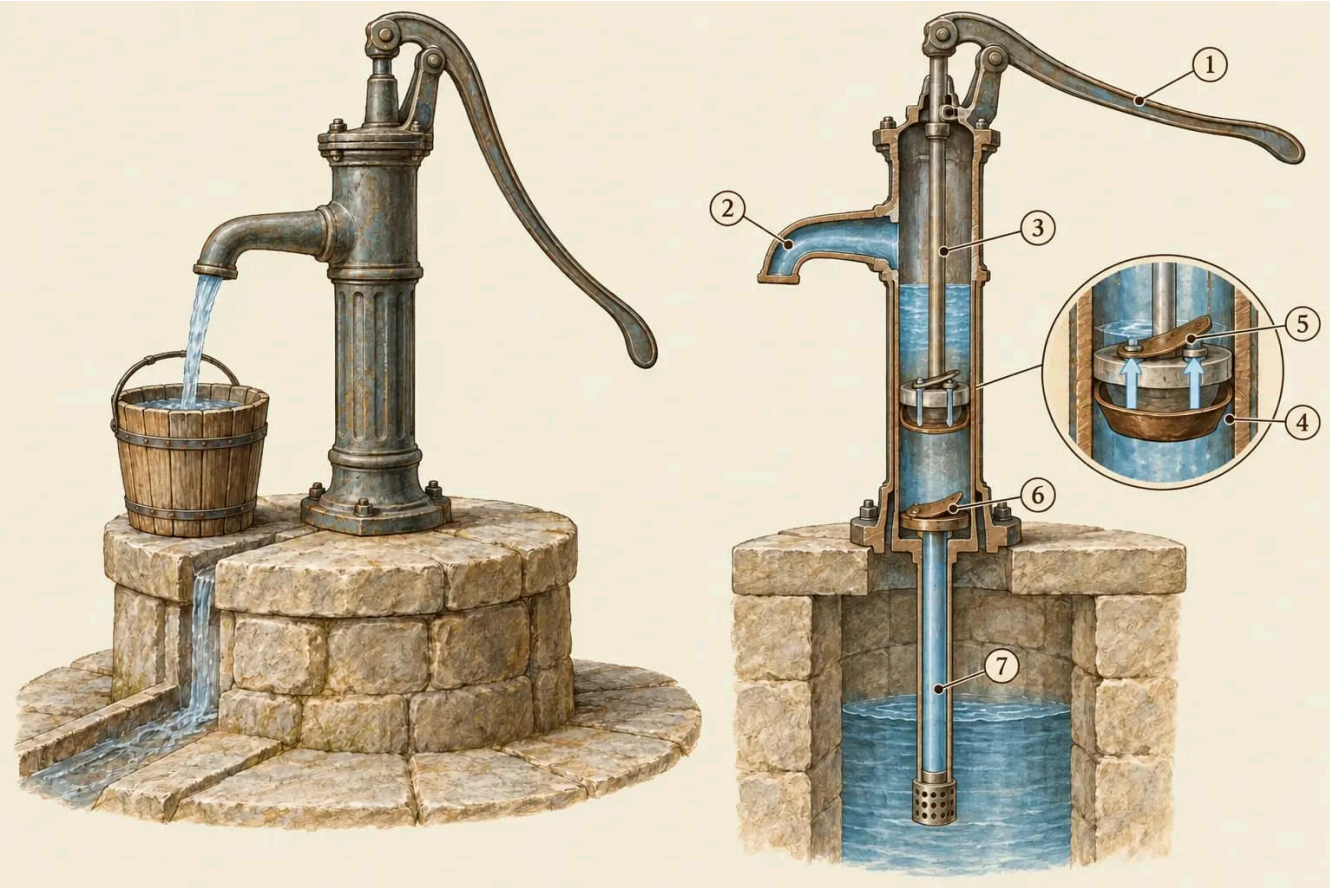
Bomba de pistão

A água elevada por pistão e válvulas

c. 270 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Bronze (p. 123), Curtimento do couro (p. 101)

Conduz a: Refrigeração (p. 282), Máquina a vapor (p. 227)



1 Alavanca 2 Bica 3 Haste do êmbolo 4 Copo de couro 5 Válvula do êmbolo 6 Válvula de pé 7 Tubo de aspiração

Uma bomba de pistão desloca a água com um êmbolo que desliza dentro de um cilindro, entre duas válvulas que só a deixam passar num sentido. A bomba premente é atribuída a Ctesíbio de Alexandria, no século III a.C.; a bomba aspirante, que puxa a água de baixo, espalhou-se pela Europa no fim da Idade Média e acabou nos poços das aldeias de todo o mundo.

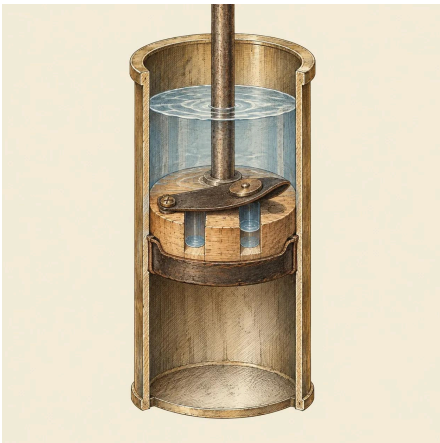
O que é

Uma bomba de pistão desloca a água com um êmbolo que sobe e desce dentro de um tubo, entre duas válvulas que só abrem num sentido. Há mais de dois mil anos que estas bombas esgotam minas, alimentam fontes, apagam incêndios e tiram água dos poços.

A bomba aspirante, também chamada elevatória, fica acima da água e fá-la subir por um tubo. A bomba premente fica dentro de água, ou abaixo da saída, e empurra a água para fora sob pressão. A prancha mostra uma bomba aspirante do século XIX sobre um poço de aldeia tapado.

Como funciona

No fundo do cilindro fica a válvula de pé, uma aba de couro ou de borracha que se levanta para deixar entrar a água e volta a cair sobre o assento. O êmbolo leva uma segunda aba por cima de furos que o atravessam, e um copo de couro à volta da borda. O copo abre para cima, de modo que a água que tem por cima o aperta contra a parede.



Na subida, a água por cima mantém a aba fechada; na descida, a aba levanta-se e a água atravessa o êmbolo.

Quando a alavanca sobe o êmbolo, a válvula dele fica fechada e a água por cima sobe até à bica. Por baixo do êmbolo a pressão desce, e o ar que pesa sobre a superfície do poço empurra a água pelo tubo de aspiração e através da válvula de pé. Na descida, a válvula de pé fecha, a do êmbolo abre e o êmbolo atravessa a água.

Do lado da aspiração, quem trabalha é a atmosfera, e a sua força tem um limite. Ao nível do mar, o peso do ar equilibra uma coluna de água de cerca de 10,3 metros, ou 76 centímetros de mercúrio. Fugas, atrito e água que ferve a baixa pressão limitam uma bomba manual a cerca de 7 metros, menos na montanha.

Uma bomba premente expulsa a água por uma válvula de descarga, tão alto quanto o esforço e os tubos permitirem. As bombas manuais de poço profundo descem o cilindro abaixo do nível da água e movem o êmbolo com uma haste comprida, e a aspiração deixa de impor o limite. Dois cilindros alternados, ou um êmbolo de duplo efeito que empurra nos dois cursos, regularizam o caudal, e uma câmara de ar na saída, onde o ar preso se comprime e se expande, transforma os golpes num jato contínuo.

Como construir

Com tubo de plástico faz-se uma pequena bomba aspirante para um poço pouco fundo ou um depósito de chuva. A água tem de ficar a menos de uns 6 metros abaixo do cilindro, de preferência a 3 ou 4.

Cilindro. Fixe na vertical 60 a 80 cm de tubo de PVC liso com cerca de 50 mm de diâmetro, com um tê perto do topo a servir de bica. Um tubo mais fino desce da base até à água. Todas as ligações abaixo do êmbolo têm de ser estanques ao ar.

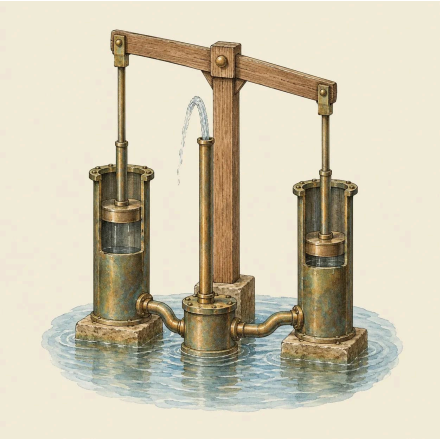
Válvula de pé. Feche o fundo do cilindro com um tampão com um furo de cerca de 2 cm. Por cima, ponha um disco de couro ou de câmara de ar, aparafusado por uma borda que faz de dobradiça e com uma anilha como peso.

Êmbolo. Corte um tampão de madeira dura ou de plástico um pouco mais pequeno do que o diâmetro interior, fure-o de lado a lado e tape os furos com uma aba igual. Por baixo, prenda um copo de couro grosso ou de borracha com a borda virada para cima e o centro recortado, para os furos ficarem livres. Molhe o couro antes de o montar. Uma haste liga o êmbolo a uma alavanca com cerca de um metro, articulada num poste.

Ferrar e manter. Deite um copo de água limpa no cilindro para molhar o couro e vedar as válvulas, e comece a bombear. Se a bomba se esvaziar durante a noite, verifique primeiro a válvula de pé.

Segurança. Nunca deixe um poço aberto: tape-o com uma laje ou uma tampa que aguente um adulto e mantenha as crianças afastadas. Nunca desça a um poço, onde o ar pode ter pouco oxigénio. Mantenha os dedos longe da articulação. Vede a passagem do tubo, incline o chão para fora e afaste latrinas e animais. Ferre apenas com água potável, porque ela vai parar ao poço. O couro, a câmara de ar e o plástico comum não são feitos para água de consumo: use esta bomba para rega ou lavagens, ou construa-a toda com peças certificadas para água potável. Não beba água de um poço antes de uma análise a dar como segura; ferver mata os micróbios, mas não elimina os químicos.

História e evolução



A bomba de Ctesíbio tal como Vitrúvio a descreve: dois cilindros de bronze que trabalham alternadamente e alimentam um único tubo vertical.

A bomba premente é atribuída a Ctesíbio, engenheiro em Alexandria por volta de 270 a.C. Vitrúvio descreveu os seus cilindros de bronze e as válvulas por volta de 25 a.C. Um inventário de Richard Stein de 2007 conta treze bombas romanas de metal, quase todas de bronze, e dezoito de madeira de carvalho, a maioria achadas em poços; a de Silchester está no museu de Reading.

Por volta de 1206, al-Jazari descreveu uma bomba movida por uma roda hidráulica, com dois êmbolos opostos e verdadeiros tubos de aspiração. As bombas aspirantes chegaram às minas europeias no fim da Idade Média. Em 1556, Georgius Agricola descreveu conjuntos de três bombas sobrepostas, cada uma com uns sete metros de tubo, que subiam a água de tanque em tanque.

Em 1638, Galileu relatou que nenhuma bomba aspirante conseguia elevar a água mais de dezoito braças florentinas, cerca de 10,5 metros, e julgou que a coluna se partia com o próprio peso. O seu discípulo Torricelli encontrou a causa em 1644 (alguns relatos dizem 1643): num tubo de vidro, o mercúrio fica a cerca de 76 cm, sustentado pelo peso do ar. Em 1648, a pedido de Pascal, o cunhado dele levou o tubo ao cimo do Puy de Dôme, onde o mercúrio ficou cerca de 8,5 cm mais abaixo.

Em Londres, Richard Newsham patenteou em 1721 uma bomba de incêndio cujas duas bombas alimentavam uma câmara de ar, o que dava um jato contínuo. Para as minas, Thomas Newcomen tinha construído já em 1712, perto de Dudley, a sua primeira máquina a vapor, que movia as bombas. Na Índia, um levantamento da UNICEF mostrou em 1974 que três em cada quatro poços abertos nos sete anos anteriores não davam água. A UNICEF, o governo e a empresa Richardson and Cruddas criaram então a India Mark II, com o cilindro dentro do furo, capaz de tirar água de 50 metros. Há milhões em uso, e é exportada para mais de 40 países.

Uma bomba de incêndio do tipo de Newsham: duas bombas movidas por braços compridos e uma câmara de ar que mantém o jato regular.

Números-chave

Limite teórico de aspiração
Cerca de 10,3 m de água ao nível do mar, a altura que o peso do ar consegue sustentar

Limite na prática
Cerca de 7 m entre a superfície da água e uma bomba manual

Bomba premente de Ctesíbio
Alexandria, por volta de 270 a.C.; conhecida através de Vitrúvio, por volta de 25 a.C.

Bombas romanas encontradas
13 em metal, quase todas de bronze, e 18 em madeira (inventário de 2007)

Bomba manual India Mark II
Alturas de 10 a 50 m, cilindro de 63,5 mm, milhões instaladas desde o fim dos anos 1970

Fontes

1. Vitruvius, On Architecture, Book X, chapter 7 (Gwilt translation, 1826) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/10*.html
2. Roman Wooden Force Pumps (R. J. B. Stein), in Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité, 2007 · Publications du Centre Jean Bérard, OpenEdition Books https://books.openedition.org/pcjb/405
3. Horror vacui? The syphon experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper1.html
4. Horror vacui? Torricelli's barometric experiment · Museo Galileo, Florence https://www.imss.fi.it/vuoto/eesper2.html
5. Horror vacui? The void within a void · Museo Galileo, Florence https://imss.fi.it/vuoto/eesper3.html
6. Barometers · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/earth-and-environment/atmosphere-and-weather/meteorological-instruments/barometers
7. Al-Jazari, Badi al-Zaman (Dictionary of Scientific Biography) · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/al-jazari-badi-al-zaman-abu-l-izz-ismail-ibn-al-razzaz
8. Georgius Agricola, De re metallica, Book VI (Hoover translation, 1912) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/38015
9. Mine Pumping in Agricola's Time and Later (R. P. Multhauf, 1959) · Smithsonian Institution, via Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/31024
10. Hand pumps for water lifting · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Mechanical%20Power/KnO-100411_Human-powered%20handpumps/page5.html
11. No. 6 pump (public-domain handpump specification) · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/no-6-pump
12. Water lifting devices, chapter 3.5: reciprocating displacement pumps · Food and Agriculture Organization of the United Nations https://www.fao.org/4/ah810e/ah810e06.htm
13. India Mark II handpump specification · Rural Water Supply Network https://www.rural-water-supply.net/en/implementation/public-domain-handpumps/india-mark-ii
14. How three handpumps revolutionised rural water supplies: the India Mark II · Rural Water Supply Network https://rwsn.blog/2013/03/19/how-three-handpumps-revolutionised-rural-water-supplies-the-india-mark-ii/
15. A history of UNICEF work on water, sanitation and hygiene in India · UNICEF India https://www.unicef.org/india/stories/history-unicef-work-water-sanitation-and-hygiene-india
16. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
17. Fire Engine (Newsham, patented 1721) · Colonial Williamsburg Foundation https://history.org/primary-content/fire-engine/
18. Suction pump · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Suction_pump

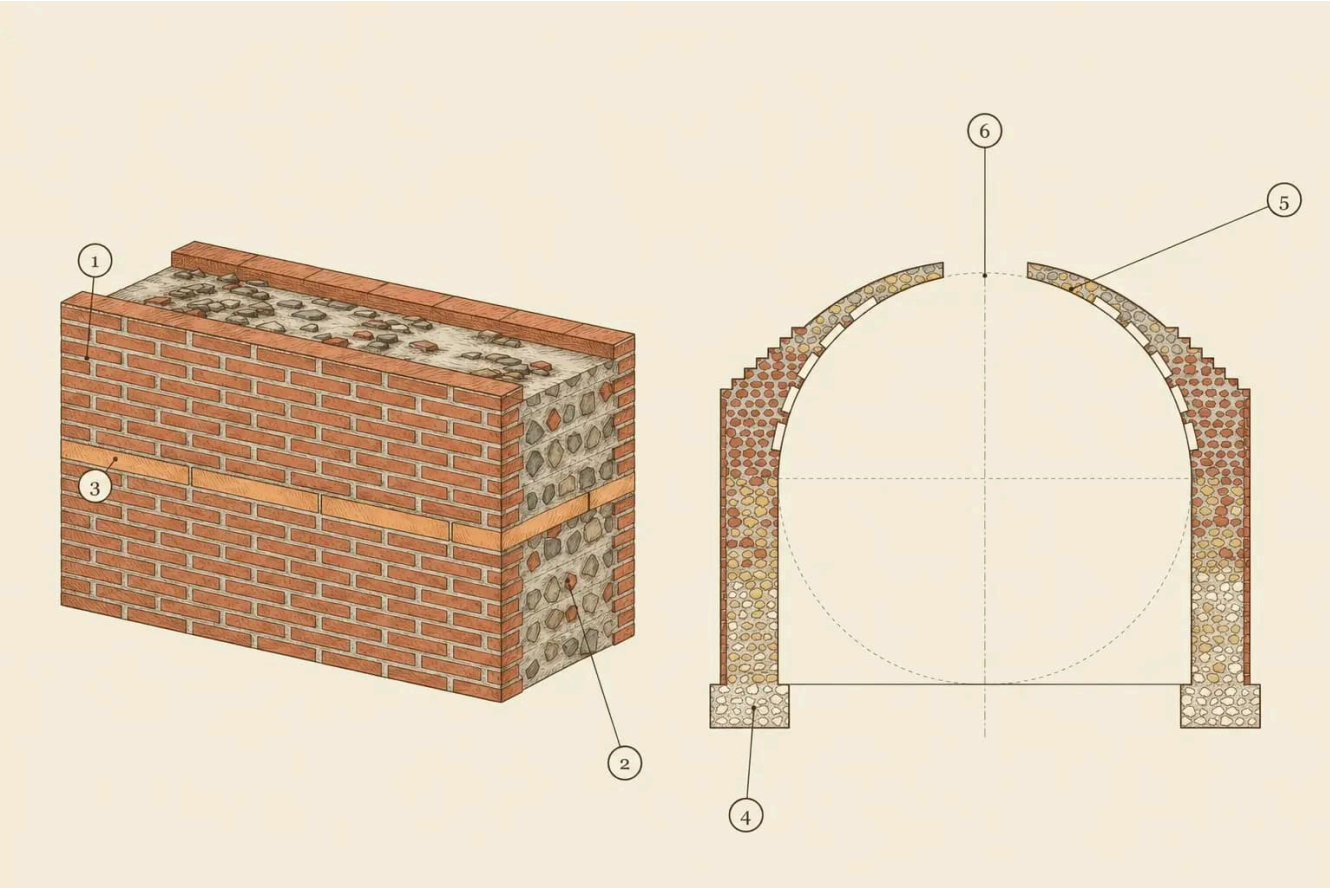
Factos verificados em 2026-10-14

Betão romano

Cal, cinza vulcânica e entulho

c. 200 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Tijolos (p. 40), Domínio do fogo (p. 9), Cal e argamassa de cal (p. 31)
Conduz a: Cimento Portland (p. 257)



1 Paramento de tijolo 2 Núcleo de entulho e argamassa 3 Fiada de grandes tijoleiras planas 4 Travertino pesado das fundações 5 Pedra-pomes leve e tufo no alto da cúpula 6 Óculo

O betão romano é uma argamassa de cal calcada à volta de pedras ou pedaços de tijolo; na sua forma mais conhecida, a argamassa leva cinza vulcânica. A cinza fá-lo endurecer mesmo debaixo de água; com ele se ergueram as abóbadas de Roma, os seus portos e a cúpula sem armadura do Panteão, ainda hoje a maior do género.

O que é

O betão romano, opus caementicium, é uma massa de fragmentos de pedra ligados por uma argamassa de cal que, em muitas obras romanas, levava cinza vulcânica. Os romanos chamavam caementa a esses fragmentos, palavra de onde vem «cimento». A partir do século II a.C., permitiu erguer muros, abóbadas e cúpulas de uma dimensão que a cantaria sozinha não alcançava, com menor custo e mão de obra menos especializada.

Duas coisas o distinguem de uma simples argamassa de cal: a cinza vulcânica, que lhe permite endurecer mesmo debaixo de água, e uma maneira de construir por camadas de entulho entre paramentos de tijolo ou de

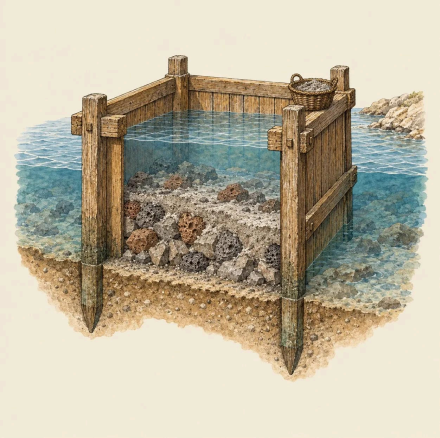
pedra miúda.

Como funciona

O ligante começa por ser calcário. Cozido num forno, liberta dióxido de carbono e transforma-se em cal viva; com água, a cal viva incha, aquece e torna-se cal apagada. Uma argamassa só de cal aérea endurece devagar, ao recuperar o dióxido de carbono do ar, e fica mole onde o ar não chega.

Um forno de cal: o calcário é empilhado sobre um arco por cima do fogo e sai transformado em cal viva branca.

A cinza vulcânica resolve isso. A do golfo de Nápoles, chamada pozolana por causa da cidade de Pozzuoli, é rica em sílica e alumina sob uma forma vítrea e reativa. Reage com a cal e a água e forma novos minerais ligantes, de modo que a argamassa endurece ao reagir com a água e não com o ar, mesmo submersa. Vitrúvio, por volta de 25 a.C., notava que esta areia vulcânica dos arredores de Baias e do Vesúvio, misturada com cal e entulho, endurecia debaixo de água tal como em terra.



Betão marinho: enchiam-se de argamassa de cinza e entulho caixões de madeira cravados no mar.

Para os portos, os construtores cravavam estacas de madeira no fundo do mar, uniam-nas num recinto e enchiam-no de argamassa e blocos de tufo diretamente na água; Vitrúvio descreve também recintos esgotados antes do enchimento. Plínio, o Velho, descrevia esses molhes como uma só massa de pedra, cada dia mais firme. Em 2017, uma equipa dirigida pela geóloga Marie Jackson mostrou que a água do mar dissolve lentamente parte da cinza e que nos seus poros crescem novos minerais, entre eles a rara tobermorite aluminosa e a phillipsite. Segundo a equipa, estes cristais entrelaçados ajudam o betão a resistir à fissuração.

Os operários erguiam o betão romano por camadas. Espalhavam uma camada de pedras do tamanho de um punho ou de tijolo partido, calcavam argamassa entre elas e repetiam camada após camada; a argamassa chegava ao muro em cestos levados à mão. Os paramentos de tijolo ou de pequenas pedras aparelhadas serviam de cofragem perdida. A intervalos regulares, fiadas de grandes tijoleiras planas atravessavam o muro e ligavam os paramentos ao núcleo.

Em 2023, uma equipa do MIT dirigida por Admir Masic estudou os pequenos grumos brancos de cal que aparecem no betão romano. Concluiu que os construtores juntavam parte da cal sob a forma de cal viva, que aquece a mistura ao reagir. Os grumos funcionam como reserva: quando a água entra numa fissura, dissolve cal deles e deposita carbonato de cálcio que veda a abertura. A equipa fez depois argamassas de ensaio modernas com cal viva adicionada, fissurou-as e fez passar água por elas; segundo o relato do MIT, as fissuras fecharam-se em cerca de duas semanas, enquanto uma amostra de controlo sem cal viva não se reparou.

Os grumos brancos são nódulos de cal. Onde uma fissura atravessa um deles, a água pode dissolver a cal e voltar a fechar a fissura com calcite.

O betão romano resiste menos à compressão do que um betão moderno de cimento Portland e ganha resistência devagar. Os construtores

contavam com isso: no Panteão, arcos de tijolo embebidos nas paredes suportavam as cargas enquanto o betão endurecia.

Como construir

Um pequeno bloco de ensaio com cerca de 30 cm de comprimento chega para ver como o material se comporta. Trate-o apenas como demonstração, nunca como elemento estrutural. Use produtos vendidos para trabalhos de cal e restauro.

Reunir os materiais. Precisa de cal hidratada em pó, pozolana natural ou outra pozolana vendida para argamassas de cal, e agregado: tijolo partido ou pedras limpas, do tamanho de uma noz ao de um ovo. Use luvas e óculos desde o início, trabalhe num local bem ventilado e evite levantar pó.

Amassar a argamassa. Use as proporções em volume que o fornecedor da pozolana indicar para cal hidratada. Ponha uma máscara filtrante bem ajustada, como exigem as fichas de segurança, e misture os pós a seco. Junte água aos poucos até a argamassa ficar firme e pegajosa, não líquida.

Levantar os paramentos. Humedeça antes os tijolos e o agregado de tijolo, sem deixar água à superfície, para que não roubem a água à argamassa fresca. Assente dois paramentos curtos e finos de tijolo com argamassa de cal, um palmo de altura de cada vez. Servem de cofragem e ficam no lugar.

Encher o núcleo. Espalhe uma camada de argamassa entre os paramentos, enterre nela o agregado e depois calque mais argamassa nos vazios com um maço de madeira até não sobrar nenhum. Trabalhe em camadas de cerca de 6 a 8 cm, para que a argamassa envolva cada pedaço, e termine com uma fiada de tijoleiras planas que atravesse todo o bloco.

Deixar curar devagar. Mantenha a obra húmida e à sombra durante pelo menos duas semanas, coberta com serapilheira molhada, e proteja-a da geada. A cal e a pozolana continuam a ganhar resistência durante meses; parta o bloco ao fim de alguns meses para ver até onde ganhou presa.

> **Segurança.** A cal é cáustica. Queima a pele e pode cegar: use luvas, mangas compridas e óculos estanques, lave logo qualquer salpico com muita água limpa e procure assistência médica se atingir os olhos. Use uma máscara filtrante bem ajustada ao despejar ou misturar a seco cal e pozolana. Não apague cal viva por conta própria nem tente a «mistura a quente» romana: a cal viva e a água reagem com violência, fervem e salpicam. Esta mistura caseira não foi ensaiada: não a use em degraus, muros ou em nada que tenha de suportar uma carga.

História e evolução

As argamassas de cal usavam-se no Mediterrâneo muito antes de Roma; os construtores romanos fizeram delas um material estrutural. O betão era de uso corrente por volta de 150 a.C., e alguns investigadores situam o seu início um século antes. O betão que ganha presa debaixo de água terá sido desenvolvido à volta do golfo de Nápoles, de onde vem a cinza, antes do fim do século II a.C.; quais as obras portuárias conservadas mais antigas é tema de debate.

No tempo do Império, sustentou a maior parte dos grandes edifícios. O porto de Herodes em Cesareia, construído a partir de cerca de 22 a.C., foi feito com cinza enviada de Itália. O Panteão, reconstruído no tempo de Adriano entre cerca de 117 e 125 d.C., tem uma cúpula de 43,3 m de diâmetro com uma abertura redonda de cerca de 9 m no topo. As paredes têm cerca de 6 m de espessura, e o agregado passa do pesado travertino das fundações ao tufo e ao tijolo, e à leve pedra-pomes com tufo na parte alta da cúpula. Continua a ser a maior cúpula de betão não armado do mundo.

Depois da queda do Império do Ocidente, a grande construção em betão tornou-se rara e a argamassa de cal voltou sobretudo a ligar alvenarias. O betão moderno, de cimento Portland e muitas vezes armado com aço, ganha presa mais depressa e é mais resistente, mas na água do mar pode fissurar, e o seu aço corroer, em poucas décadas se for mal feito ou mal protegido. Hoje estudam-se as carotes dos portos romanos e os nódulos de cal para obter betões mais duradouros e que emitam menos dióxido de carbono.

Números-chave

Ligante
Cal, muitas vezes com cinza vulcânica (pozolana)

Traço para obras debaixo de água
Cerca de 1 parte de cal para 2 de cinza (Vitrúvio)

Cúpula do Panteão
43,3 m de diâmetro, sem armadura, concluída por volta de 125 d.C.

Densidade do betão do Panteão
Cerca de 2200 kg/m^3 nas fundações, 1350 kg/m^3 junto ao topo

Fontes

1. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book II (lime and pozzolana) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/2*.html
2. Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Book V, chapter 12 (harbours) · LacusCurtius, University of Chicago https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/5*.html
3. Hot mixing and the durability of ancient Roman concrete (news release, 6 January 2023) · MIT News https://news.mit.edu/2023/roman-concrete-durability-lime-casts-0106
4. How seawater strengthens ancient Roman concrete (news release, 3 July 2017) · University of Utah, via EurekAlert! https://www.eurekalert.org/news-releases/778694
5. The Pantheon: crown jewel of Roman concrete (David Moore, Constructor, 2002) · Associated General Contractors of America (Constructor magazine) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%c3%a7onnerie/B%c3%a9tonRomain/RomanConcretePantheon-Moore2002.pdf
6. Roman concrete · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Roman_concrete
7. A comparison of the chemical and engineering characteristics of ancient Roman hydraulic concrete with a modern reproduction of Vitruvian hydraulic concrete (Gotti, Oleson et al., Archaeometry 50, 2008) · University of Oxford / Wiley (Archaeometry) https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/ETUDESarchivees/Ma%C3%A7onnerie/B%C3%A9tonRomain/RomanConcrete-Gotti2008.pdf
8. Building for Eternity: the History and Technology of Roman Concrete Engineering in the Sea (J. P. Oleson ed., 2014) · Oxbow Books https://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/AUTHORS/Oleson2014-BuildingforEternity.pdf
9. Building a Roman pila: the ROMACONS experiment at Brindisi, September 2004 · J. P. Oleson, University of Victoria https://web.uvic.ca/~jpoleson/Harbour%20Concrete/ROMACONS04Pila.html
10. FEM static and dynamic modeling of Roman vaulted monuments in opus caementicium (R. Perucchio, 2012) · University of Rochester, via SAHC Masters https://msc-sahc.org/wp-content/uploads/2020/07/5-fem-roman-vaults-guimaraes-1oct2012.pdf

Factos verificados em 2026-10-12

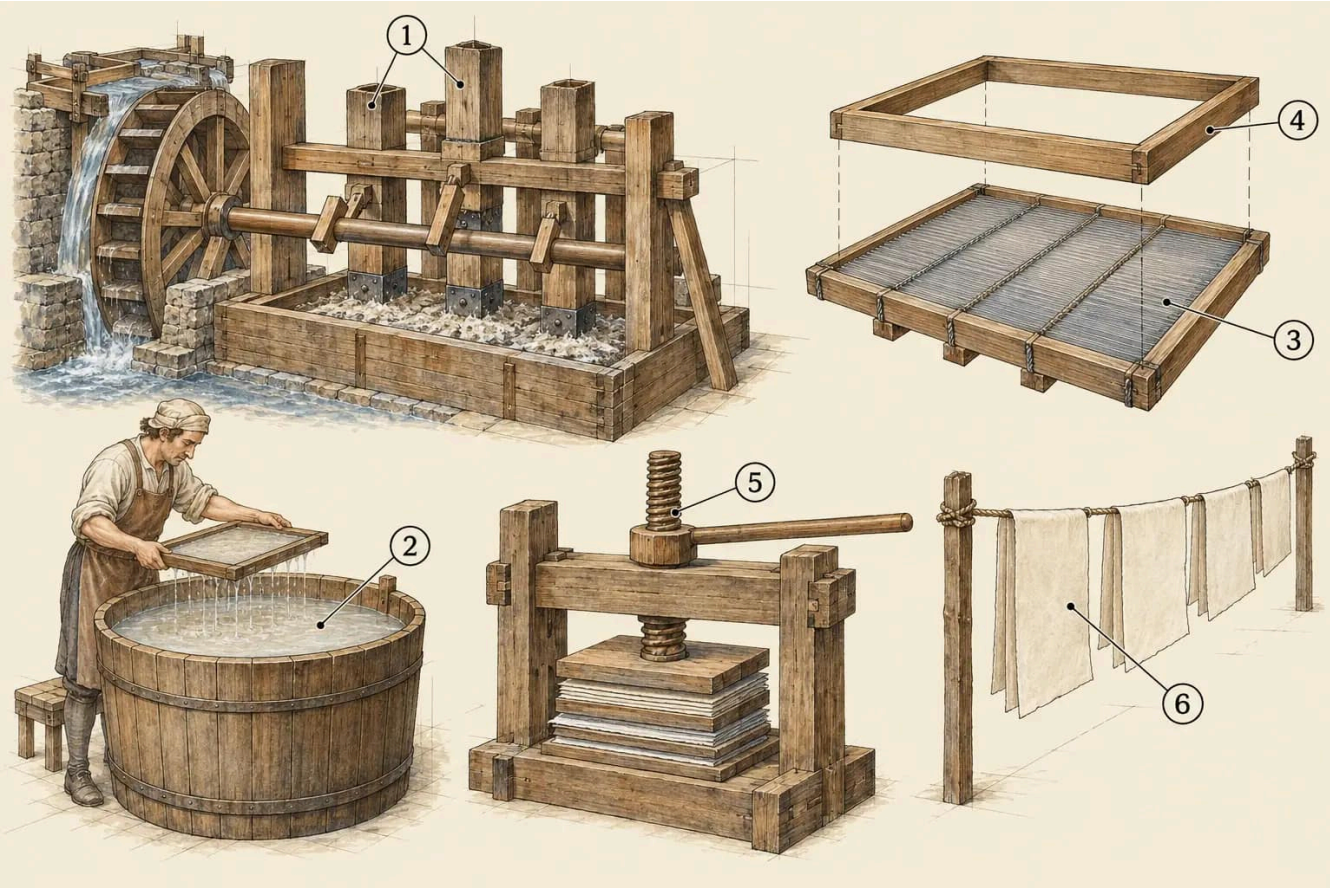
Papel

Um suporte barato para a memória

c. 150 a.C. · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Cerâmica (p. 23)

Conduz a: Balão de ar quente (p. 231), Prensa de impressão (p. 205)



1 Pilões que batem os trapos até os reduzir a pasta 2 Tina de pasta 3 Forma 4 Armação
5 Prensa de parafuso com uma posta de feltros e folhas 6 Folhas penduradas a secar

O papel é uma fina camada de fibras vegetais, batidas em água, recolhidas numa peneira e secas até se ligarem umas às outras. Mais leve do que as tiras de bambu e mais barato do que a seda ou o pergaminho, levou a escrita e depois a imprensa da China dos Han ao resto do mundo.

O que é

O papel é uma folha de fibras vegetais separadas, misturadas em água e depositadas numa camada fina. Ao secar, a camada mantém-se unida sem cola. O papiro, pelo contrário, é feito de tiras da medula do papiro, uma planta aquática, prensadas em cruz, e o pergaminho é pele de animal.

Pode fazer-se até com desperdícios como trapos e redes de pesca gastas. Há cerca de dois mil anos que serve de suporte a escritos, impressos, dinheiro e mapas.

A prancha mostra o método manual europeu, usado até as máquinas o substituírem no século XIX.

Como funciona

A resistência do papel vem da celulose, a molécula comprida das paredes celulares vegetais. Batidas em água, as fibras incham e desfazem-se em fibrilas finas. Quando a camada húmida seca, a água aproxima as fibras e formam-se ligações de hidrogénio onde se tocam. A água desfá-las, e por isso o papel molhado se rasga tão facilmente.

Primeiro faz-se a pasta. Na China, a casca, o cânhamo e mais tarde o bambu eram demolhados, fervidos e pilados. Na Europa, os trapos de linho e cânhamo apodreciam algumas semanas e depois eram batidos em pias por pilões de madeira, levantados pelas cames do eixo de uma roda hidráulica.

A pasta é diluída numa tina de água até parecer leite ralo. O oficial da tina mergulha a forma, uma moldura de madeira com fios metálicos finos esticados, e retira-a na horizontal. Por cima assenta uma moldura solta, a armação, que define a margem da folha. Enquanto a água escorre, sacode a forma brevemente nos dois sentidos para que as fibras se cruzem e se entrelacem.

Fios finos para as vergaturas, fios mais grossos para os pontusais e uma marca d'água cosida em arame.

O deitador vira a forma sobre um feltro de lã, onde fica a folha húmida. Feltros e folhas empilham-se numa posta, que vai a uma prensa de parafuso para perder grande parte da água. Depois as folhas secam em cordas. Para escrever com pena e tinta, na Europa as folhas eram mergulhadas em gelatina animal; sem ela, a tinta alastra como num mata-borrão.

Como fabricar

Casca, cânhamo, trapos e redes velhas: os materiais citados no relatório de Cai Lun de 105.

Os trapos de algodão ou linho, o cânhamo e a casca interior da amoreira são as fibras mais fáceis. A madeira exige moagem mecânica ou cozedura química.

Preparar a fibra. Corte os trapos em pedaços pequenos. Deixe-os de molho vários dias e depois bata-os com um pilão ou um maço sobre uma pedra plana, até que uma pitada agitada num frasco de água se abra numa nuvem solta, sem fios. A casca é primeiro fervida algumas horas em água com cinza de lenha, numa panela de ferro ou de aço inoxidável (nunca de alumínio); depois enxagua-se até a água sair limpa e a fibra deixar de escorregar entre os dedos, e bate-se.

Fazer a forma e a armação. Construa duas molduras iguais de madeira de veio direito, do tamanho da folha pretendida. Sobre uma, estique uma tela fina: arame de latão, pano de trama muito apertada ou caules finos de bambu ou de erva atados lado a lado, como na Ásia. A moldura nua é a armação.

Formar a folha. Encha a tina de água e junte pasta até a água ficar turva. Segure juntas a forma e a armação, mergulhe-as pelo lado mais afastado, retire-as na horizontal e sacuda-as suavemente enquanto escorrem.

Deitar e prensar. Tire a armação, vire a forma para baixo sobre um feltro húmido e pressione as costas para que a folha fique no feltro. Ponha outro feltro por cima e repita. Prense a pilha entre tábuas com pesos ou numa prensa de parafuso.

Secar e colar. Pendure as folhas numa corda ou estenda-as com uma escova sobre uma tábua lisa. Para escrever a tinta, mergulhe as folhas secas em gelatina morna e diluída ou em goma de amido, e deixe-as secar outra vez.

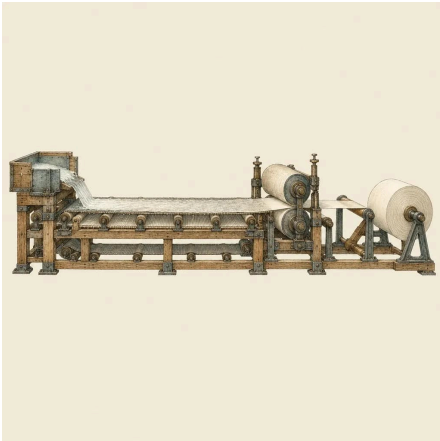
> **Segurança.** A lixívia de cinza queima a pele e os olhos: use luvas e óculos de proteção, e ferva as fibras ao ar livre. O chão à volta de uma tina está sempre molhado e escorregadio. Os pilões movidos a água e as prensas de parafuso podem esmagar os dedos, por isso, antes de meter a mão, desligue a roda, trave os pilões para que não possam cair e alivie a prensa.

História e evolução

Durante séculos, a invenção foi atribuída a Cai Lun, funcionário da corte dos Han Orientais, que em 105 d.C. apresentou ao imperador um método para fazer papel com casca, restos de cânhamo, trapos e redes de pesca. A arqueologia recuou a data: um fragmento com um mapa, encontrado num túmulo de Fangmatan (Gansu), data do século II a.C. Cai Lun terá provavelmente aperfeiçoado o processo e tornado o papel prático para a escrita.

O fabrico de papel chegou à Coreia, ao Vietname e, no início do século VII, ao Japão. Duvida-se de que prisioneiros chineses capturados em Talas em 751 o tenham levado para Samarcanda, porque ali já se usava papel antes. Do mundo islâmico, o ofício chegou a Espanha, onde Xàtiva já fabricava papel no século XII.

No século XIII, os moinhos de Fabriano, em Itália, introduziram os pilões movidos a água, a colagem com gelatina e a marca d'água. Ulman Stromer fundou em 1390, em Nuremberga, o primeiro moinho de papel documentado em terras alemãs.



Na máquina de papel, a forma passou a ser uma tela metálica sem fim e a folha uma banda contínua.

Em 1799, o francês Louis-Nicolas Robert patenteou uma máquina que formava o papel sobre uma tela metálica sem fim. Os irmãos Fourdrinier financiaram o seu desenvolvimento em Inglaterra, e as máquinas modernas mantêm a mesma disposição. Na década de 1840, Friedrich Gottlob Keller, na Saxónia, e Charles Fenerty, na Nova Escócia, mostraram que a madeira moída podia substituir os trapos. A pasta de madeira tornou o papel muito mais barato e ajudou os jornais a crescer, mas muito desse papel era ácido, e muitos livros do século XIX estão amarelos e quebradiços, enquanto o papel de trapo do século XV continua flexível.

Números-chave

Fragmento mais antigo conhecido
Mapa de Fangmatan (Gansu), entre 179 e 141 a.C.

Primeiro moinho de papel em terras alemãs
Nuremberga, 1390

Primeira patente de máquina de papel
Louis-Nicolas Robert, França, 1799

Relatório de Cai Lun ao imperador
105 d.C.

Produção de uma equipa de tina à mão
Cerca de 1000 a 4500 folhas num longo dia de trabalho

Fontes

1. History of paper · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_paper
2. The oldest paper on Earth to be displayed (Fangmatan map) · Hong Kong SAR Government https://www.info.gov.hk/gia/general/199809/05/0904159.htm
3. Cai Lun invents paper · EBSCO Research Starters https://ebsco.com/research-starters/history/cai-lun-invents-paper
4. Topics in Preservation Science: Fabriano paper · Library of Congress https://loc.gov/preservation/outreach/tops/albro/index.html
5. The history of papermaking · Confederation of European Paper Industries (CEPI) https://cepi.org/?p=768
6. Magnolia PaperWeight: an app for hand papermakers and paper conservators · Magnolia Editions (Donald Farnsworth) https://www.magnoliaeditions.com/wp-content/uploads/2021/05/PaperWeight-article-V2.1.pdf
7. Cranberry Corner No. 5 · Guild of Book Workers Newsletter (Edward H. Snider) https://guildofbookworkers.org/sites/default/files/newsletter/gbw115/paper.html
8. European Papermaking Techniques 1300–1800 · University of Iowa (Timothy Barrett) https://paper.lib.uiowa.edu/european.php
9. Chain lines · Mills Archive https://millsarchive.org/glossary/a-z-glossary/2794

Factos verificados em 2026-10-11

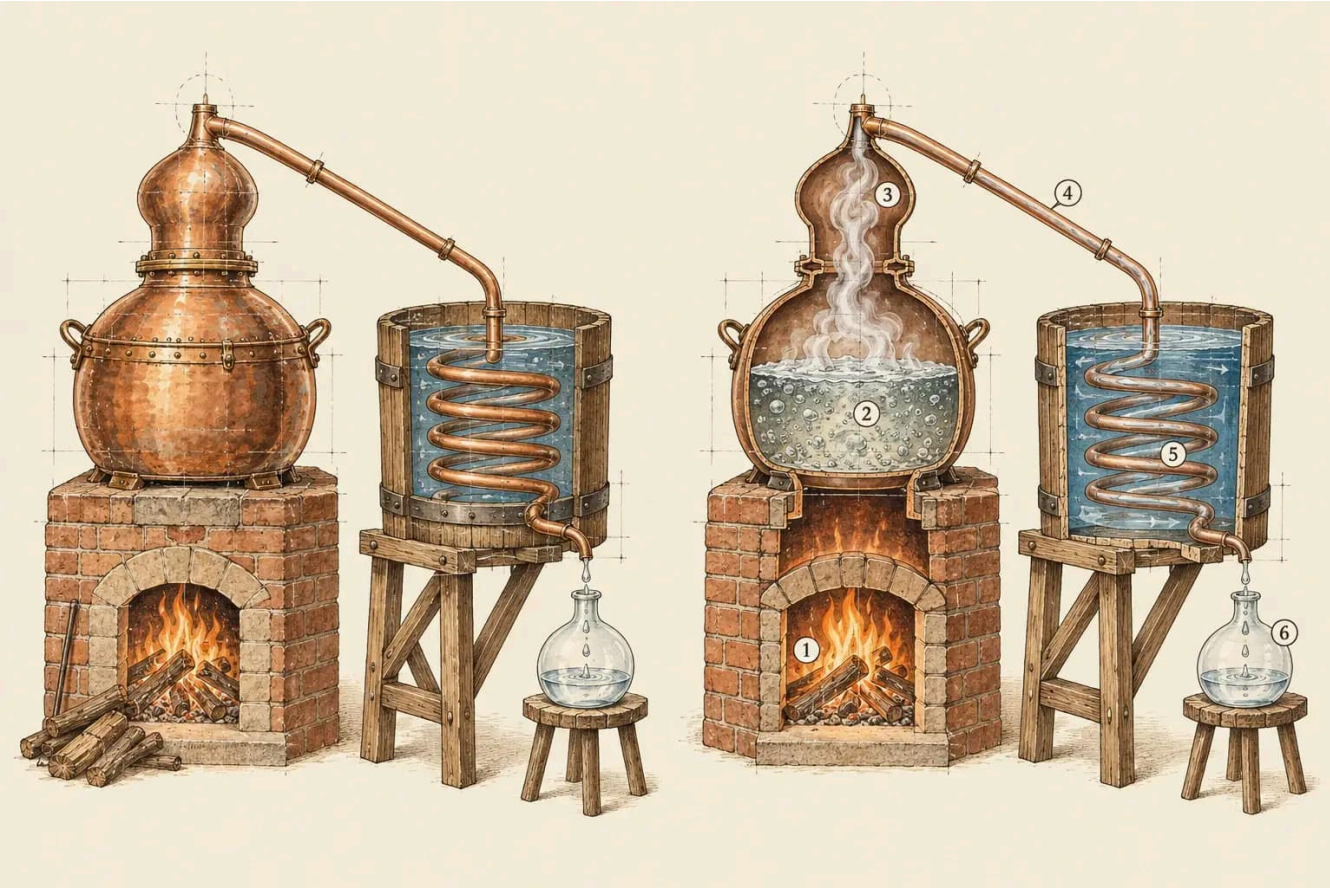
Destilação

Separar líquidos fervendo e condensando

c. 300 · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Cerâmica (p. 23), Domínio do fogo (p. 9)

Conduz a: Higiene e antissepsia (p. 299), Motor de combustão interna (p. 313), Refrigeração (p. 282)



1 Fogo da fornalha 2 Caldeira com o líquido a ferver 3 Capitel 4 Tubo do vapor 5 Serpentina numa tina de água fria 6 Recipiente coletor

A destilação separa os componentes de um líquido aquecendo-o até parte dele evaporar e arrefecendo esse vapor, que volta a ser líquido noutro recipiente. Descrita no Egito romano por volta do ano 300 d.C., deu água pura, perfumes e óleos essenciais, álcool para a medicina e, desde o século XIX, os combustíveis refinados do petróleo.

O que é

Destilar é separar substâncias evaporando-as e condensando-as. Aquece-se um líquido, quase sempre até ferver, para que parte dele passe a vapor; esse vapor é levado para outro lado, arrefecido, e volta a ser líquido noutro recipiente. O que não evapora fica na caldeira: sal, lama, corantes, a maior parte dos germes.

Os boticários usavam-na para remédios e águas de cheiro, os perfumistas para tirar o aroma das flores, os médicos para obter o álcool forte com que dissolviam fármacos e tratavam feridas. Laboratórios e hospitais usam água

destilada porque quase não leva sais dissolvidos, e é pela mesma razão que se atestam com ela as baterias de chumbo.

A estampa mostra um alambique do início do século XVI, tal como aparecia nos primeiros livros impressos sobre a arte de destilar: uma caldeira de cobre sobre uma pequena fornalha, um capitel abaulado e um tubo que serpenteia por uma tina de água fria antes de pingar num frasco.

Como funciona

Todo o líquido liberta vapor, tanto mais quanto mais quente estiver, e ferve quando a pressão desse vapor iguala a do ar. Ao nível do mar a água ferve a 100 °C, o etanol, o álcool do vinho, a cerca de 78 °C, e o metanol a cerca de 65 °C. Os sais quase não evaporam, por isso ferver água do mar e condensar o vapor dá água doce.

O fogo aquece a caldeira e o vapor sobe para o capitel. Dali desce por um tubo até à serpentina, uma espiral mergulhada em água fria que lhe tira o calor. O vapor condensa-se dentro do cobre e cai gota a gota no recipiente coletor.

Os óleos essenciais obtêm-se por arrastamento de vapor. O vapor atravessa flores, folhas ou cascas e leva consigo o seu óleo aromático. Óleo e água não se misturam, por isso cada um contribui com a sua pressão de vapor e o par ferve abaixo de 100 °C, mesmo quando o óleo sozinho só ferveria acima de 250 °C. O óleo passa assim sem queimar e forma uma camada à parte no recipiente.

No vaso florentino o óleo flutua sobre a água, que sai pelo tubo lateral.

Quando na caldeira há dois líquidos miscíveis que evaporam, como a água e o álcool, a separação é só parcial. O vapor é mais rico no mais volátil, mas nunca puro, e por isso os destiladores voltavam a passar o produto pelo alambique. Uma coluna de fracionamento repete a operação muitas vezes numa só passagem: o vapor que sobe cruza-se com o líquido que desce, o refluxo, e em cada nível uma parte condensa e volta a ferver. As refinarias separam assim o crude em gás, gasolina, querosene, gasóleo e resíduos pesados segundo os intervalos de ebulição.

Como fazer

Esta secção trata de uma só coisa: tornar potável água salgada ou lamacenta. Não descreve o fabrico de álcool. Destilar aguardente em casa é proibido sem licença em muitos países, e um alambique mal conduzido pode concentrar metanol, que cega e mata em pequenas quantidades e não se deteta pelo sabor nem pelo cheiro.

Destilador solar. Deite alguns centímetros de água num tabuleiro escuro e pouco fundo, em pleno sol. Cubra-o com um vidro limpo, ou com plástico transparente próprio para alimentos que aguente o calor, inclinado para que as gotas escorram pela face de baixo até uma caleira no bordo mais baixo, que leve a um frasco de vidro tapado. Vede as juntas para o vapor não escapar. Com sol tropical, um destilador bem feito dá dois a três litros por metro quadrado por dia; noutros climas, e com materiais improvisados, conte com menos.

Panela e tampa. Encha até meio uma panela grande de metal e ponha-a ao lume. Ao centro, coloque uma tigela pequena e limpa de metal sobre uma pedra, com o bordo bem acima da água. Ponha uma tampa de metal ao contrário, com a pega virada para a tigela, e mantenha-a fria com neve, água fria ou um pano molhado; nunca arrefeça assim uma tampa de vidro, que pode estalar. Mantenha uma fervura branda: uma fervura forte salpica água por tratar para dentro da tigela.

Com a tampa virada ao contrário, a água que nela condensa corre para a pega e pinga na tigela.

Procure fugas. Deixe secar algumas gotas da água recolhida num prato escuro e limpo. Uma crosta branca indica que água por tratar salpica ou escorre para o recipiente. Um prato limpo não prova mais nada: nem que o destilador separa bem, nem que a água é segura, porque uma água límpida pode conter substâncias nocivas e só uma análise de laboratório o pode dizer.

Conheça os limites. A destilação deixa para trás o sal, metais como o chumbo, os nitratos e os germes. Não elimina com segurança as substâncias que fervem perto de 100 °C ou abaixo, como alguns solventes e combustíveis, e outros químicos passam com o vapor: se a fonte puder estar poluída por químicos, procure outra. Guarde a água em recipientes limpos e tapados de vidro, aço inoxidável ou plástico próprio para alimentos, porque os germes voltam depressa. Evite a louça de barro vidrada, cujo vidrado pode libertar chumbo.

> **Segurança.** O vapor queima mais do que a água a ferver: levante as tampas afastando-as do rosto. Nunca feche hermeticamente um recipiente que está a aquecer nem prenda a sua tampa; o vapor precisa de uma saída, senão a panela pode rebentar. O vidro comum racha sobre a chama ou com um arrefecimento brusco. Vigie o lume, mantenha-o longe de erva seca e as crianças à distância. Nunca destile combustível, álcool nem líquidos desconhecidos: os seus vapores pegam fogo, e o metanol de um líquido fermentado passa para o destilado.

História e evolução

Em Tepe Gawra, no norte do Iraque, há vasos do V e IV milénios a.C. com um canal à volta da boca que pode ter recolhido um líquido condensado. Em experiências publicadas em 2020, réplicas deram água perfumada, mas o uso original desses vasos continua em discussão.

As primeiras descrições claras de alambiques vêm do Egito romano. Por volta de 300 d.C., o alquimista Zósimo de Panópolis escreveu sobre alambiques de um ou vários tubos e atribuiu alguns a Maria, a Judia. Alquimistas e médicos do mundo islâmico adotaram o aparelho, e o seu nome árabe, al-anbiq, deu «alambique». No século IX, o filósofo al-Kindi escreveu um livro sobre perfumes e destilação com mais de cem receitas.

O tribikos dos alquimistas de Alexandria levava o vapor por três bicas até três frascos.

Em Bolonha, na década de 1270, médicos descreveram a aqua vitae, a «água da vida», álcool destilado do vinho e usado como remédio. Em Estrasburgo, o cirurgião Hieronymus Brunschwig publicou em 1500 o primeiro manual impresso sobre a destilação de águas medicinais e, em 1512, uma obra mais extensa.

Em 1830, o irlandês Aeneas Coffey patenteou um alambique de duas colunas que trabalhava sem parar em vez de por cargas. Por volta de 1854, Samuel Kier tinha em Pittsburgh uma das primeiras refinarias de petróleo e destilava o crude para obter petróleo de iluminação. Em 2011 a destilação ainda representava cerca de um terço da capacidade de dessalinização instalada no mundo, muitas vezes em instalações que aproveitam o calor perdido de centrais elétricas.

Números-chave

Pontos de ebulição ao nível do mar
Água 100 °C, etanol cerca de 78 °C, metanol cerca de 65 °C

Primeira descrição clara de um alambique
Zósimo de Panópolis, Egito, por volta de 300 d.C.

Destilador solar simples
Cerca de 2,3 a 3 litros por metro quadrado por dia com sol tropical

Alambique contínuo de colunas
Patenteado por Aeneas Coffey em 1830

Dessalinização em 2011
Cerca de um terço da capacidade mundial por destilação, 60% por osmose inversa

Fontes

1. Ancient Distillation and Experimental Archaeology about the Prehistoric Apparatuses of Tepe Gawra (Belgiorno, 2020) · EXARC Journal https://exarc.net/ark:/88735/10508
2. Zosimos of Panopolis · Complete Dictionary of Scientific Biography, via Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/zosimos-panopolis
3. Classic kit: Mary's bath (Sella, 2009) · Chemistry World, Royal Society of Chemistry https://www.chemistryworld.com/opinion/classic-kit-marys-bath/3004925.article
4. Distillation · Foundation for Science, Technology and Civilisation (Muslim Heritage) https://muslimheritage.com/distillation/
5. Al-Kindī's Attack on Alchemy and His Perfume Making (Inoue, 2017) · Orient 52, Society for Near Eastern Studies in Japan https://www.jstage.jst.go.jp/article/orient/52/0/52_72/_article
6. Aqua vitae (Wondrich) · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/acref-9780199311132-e-1030
7. Coffey, Aeneas · The Oxford Companion to Spirits and Cocktails, Oxford University Press https://www.spiritsanddistilling.com/dictionary/id/acref-9780199311132-e-1328
8. Distilling reliable remedies: Hieronymus Brunschwig's Liber de arte distillandi (1500) (Taape) · Ambix 61, Apollo repository, University of Cambridge https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/260374
9. Liber de arte Distillandi de Compositis (Brunschwig, 1512) · Science History Institute https://digital.sciencehistory.org/works/1jcqz5i
10. Steam Distillation: Separation Theory (Nichols) · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Courses/SUNY_Oneonta/Chem_221%3A_Organic_Chemistry_I_(Bennett)/2%3ALab_Textbook_(Nichols)/05%3A_Distillation/5.05%3A_Steam_Distillation/5.5C%3A_Separation_Theory
11. Drinking Water Treatment: Distillation (G1493) · University of Nebraska–Lincoln Extension https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1493/html/view
12. Solar distillation · Practical Action https://samplecontents.library.ph/en-practical_action/Energy/Solar%20energy/solar-distillation/page5.html
13. Some Petroleum Pioneers of Pittsburgh (Mann, 2009) · Heinz History Center https://www.heinzhistorycenter.org/wp-content/uploads/2022/08/4-Petroleum-Pioneers.pdf
14. Modern technology and economical developments in desalination on emphasis of nuclear methodology (Abdallah) · Acta Technica Corviniensis, 2018 https://acta.fih.upt.ro/pdf/2018-2/ACTA-2018-2-08.pdf
15. Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data (Sharqawy, Lienhard and Zubair, 2010) · Desalination and Water Treatment 16, via DSpace@MIT https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/69157

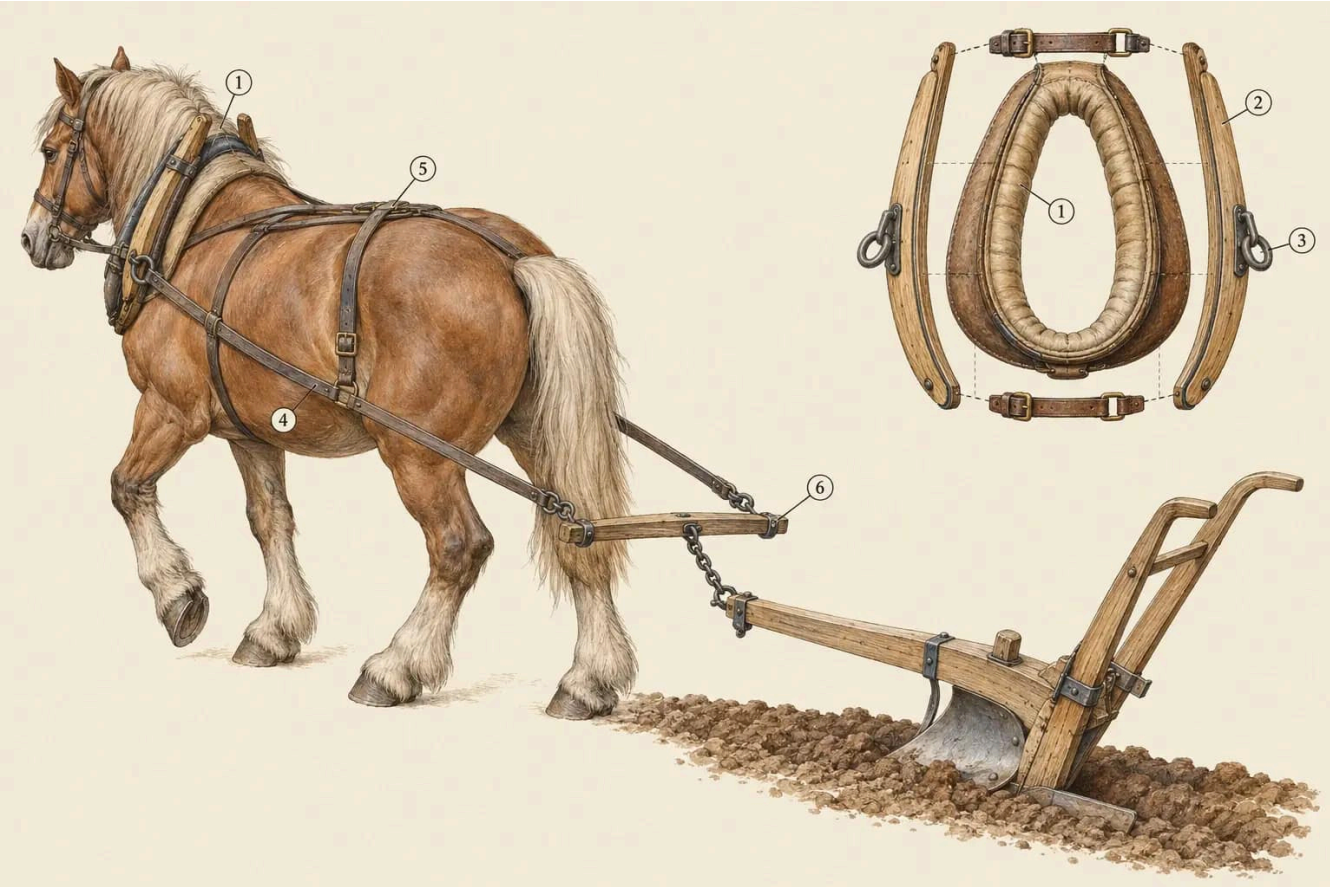
Factos verificados em 2026-10-14

Coelheira

O cavalo puxa com os ombros

c. 480 · Antiguidade · Ofícios e cidades

Requer: Curtimento do couro (p. 101), Corda e cordame (p. 13)



1 Coelheira almofadada 2 Canzis 3 Gancho do tirante 4 Tirante 5 Dorsal 6 Balancim

A coelheira é um anel rígido e almofadado que assenta nos ombros do cavalo; os tirantes prendem-se a ela perto da ponta do ombro. Assim o cavalo pode pôr todo o seu peso contra a carga sem apertar a traqueia, e na Europa medieval assumiu grande parte da lavoura e dos transportes antes feitos por bois.

O que é

A coelheira é um anel de couro cheio de palha, moldado para assentar na base do pescoço, contra a frente dos ombros. Duas peças curvas de madeira ou de ferro, os canzis, prendem-se com correias numa ranhura que dá a volta à coelheira, e nelas engatam os tirantes que puxam a carga. Uma correia sobre o dorso mantém os tirantes à altura certa, e uma travessa de madeira, o balancim, liga as suas pontas ao arado ou à carroça.

Com este arreio o cavalo empurra com o peito e os ombros, como uma pessoa que se encosta a um carrinho de mão. Com a ferradura cravada e o arado pesado, a coelheira ajudou o cavalo a substituir o boi em muitas quintas do norte da Europa durante a Idade Média.

Como funciona

Primeiro o cavalo foi posto à canga, como o boi. A lança do carro chegava a uma canga sobre o pescoço ou a cernelha da parelha, a saliência acima dos ombros, presa por uma correia à volta de cada pescoço. Os cavalos de carro egípcios usavam forquilhas de canga que apoiavam nos ombros, e as parelhas gregas e romanas puxavam sobretudo contra uma correia de peito. Richard Lefebvre des Noëttes reconstituiu tudo isto como uma correia que subia e apertava a traqueia. As experiências posteriores contradizem-no (ver a história).

O arreio «de garganta e cilha» tal como os historiadores o desenharam durante muito tempo: uma canga sobre a cernelha, uma correia ao pescoço e uma cilha.

O boi adapta-se melhor à canga. Tem o pescoço curto e grosso, e muitas raças têm uma bossa ou um relevo muscular à frente da cernelha onde a madeira se apoia. A canga de cabeça ata-se aos chifres; a canga de pescoço assenta no pescoço, à frente dos ombros. O cavalo, pelo contrário, tem o pescoço comprido e a traqueia logo debaixo da pele.

Bois sob uma canga de pescoço: a madeira apoia no pescoço à frente dos ombros e os arcos fecham-na por baixo.

Primeiro veio o peitoral: uma correia larga que atravessa o peito abaixo da traqueia, com os tirantes a sair das pontas. É leve e ainda se usa em carruagens ligeiras, mas com uma carga pesada e aos solavancos desliza e fere.

A coelheira reparte o mesmo esforço por uma superfície maior e mais rígida. A face interior apoia nos músculos à frente das omoplatas e deixa uma folga na garganta. Os canzis formam uma armação rígida, de modo que cada tirante puxa a coelheira inteira. Para bovinos de tiro, W. Micuta, da Fundação Bellerive, estimou o apoio de uma coelheira bem almofadada em cerca de 1200 cm² nos dois ombros, contra cerca de 200 cm² de uma canga de pescoço.

A linha de tração conta tanto como o almofadado. Os ganchos dos canzis ficam um pouco acima da ponta do ombro, e cada tirante deve sair em ângulo reto com a inclinação do ombro. Se os tirantes sobem para um engate alto, fazem alavanca e levantam a coelheira contra a garganta. O balancim gira sobre o centro, por isso o cavalo pode mexer os ombros ao andar sem dar puxões à carga.

Como construir

As coelheiras são cosidas por correeiros, com um rolo de palha apertada à frente e uma face lisa virada para o cavalo. Uma boa coelheira usada, bem ajustada, costuma ser melhor escolha do que uma feita em casa.

Escolher o tamanho. Mede-se por dentro, de cima a baixo: 16 polegadas (41 cm) ou menos para um pónei, 24 polegadas (61 cm) ou mais para um cavalo de tiro pesado. Um cavalo de pescoço grosso precisa também de uma coelheira mais larga em cima.

Verificar o ajuste. Encoste a coelheira aos ombros, como se o cavalo estivesse a puxar. Dos lados devem passar os dedos espalmados entre a borda e o pescoço, mas não a mão inteira. Deixe cerca de 5 cm na garganta. Uma coelheira curta demais sobe e sufoca; comprida demais, desce para a ponta do ombro e fere.

Montar os canzis. Devem assentar planos na ranhura em todo o comprimento. Aperte primeiro a correia de baixo e depois estique a de cima bem direita.

Regular os tirantes. A correia do dorso segura os tirantes à altura certa e a barrigueira impede-os de subir com o esforço. Ajuste as duas para que cada tirante saia do gancho em ângulo reto com o ombro, e engate suficientemente baixo para que os tirantes nunca puxem a coelheira para cima.

Vigiar as feridas. Pelo gasto e curto no ombro é o primeiro aviso: corrija o ajuste antes que a pele abra e deixe o cavalo ferido descansar até sarar. Se o cavalo emagrecer, vai precisar de um enchimento ou de uma coelheira menor. Em cada paragem, levante a coelheira para os ombros arrefecerem; à noite, limpe a face da coelheira e os ombros.

Verifica-se a folga na garganta com a coelheira encostada aos ombros.

> **Segurança.** Um cavalo de tiro pode pesar perto de uma tonelada; pode dar coices, tomar o freio nos dentes ou entalá-lo contra a carroça. Aprenda com um carroceiro experiente e peça a um ajudante que segure o cavalo enquanto atrela ou desatrela. Siga sempre, da mesma maneira, a sequência de atrelar e de desatrelar que lhe ensinaram. Nunca passe por cima de um tirante, nunca se ponha entre o cavalo e a carga e nunca se prenda à carga com uma corda ou uma rédea. Fale com o cavalo antes de lhe tocar nos quartos traseiros. Dê pausas e água, e pare se o cavalo mostrar aflição ou se o arreio deslizar.

História e evolução

A China foi a primeira a deixar a canga. Uma caixa lacada do Estado de Chu, pintada no século IV a.C., mostra cavalos a puxar contra uma barra atravessada no peito, e o peitoral, mais macio, é frequente nos relevos da época Han. A imagem clara mais antiga de um arreio de coelheira é uma pintura mural da gruta 257 de Mogao, em Dunhuang, datada de 477–499 d.C., embora o almofadado não se distinga bem. Pita Kelekna coloca o peitoral e a coelheira no I milénio a.C.

A coelheira chegou à Europa na Alta Idade Média, provavelmente pela Ásia Central. Lynn White situou-a no mundo carolíngio por volta de 800; W. Micuta aponta o século XI. No século XII já era comum. Com ferraduras para os solos húmidos e aveia da rotação trienal, os cavalos assumiram a lavoura em parte do norte, mais depressa do que os bois.

Durante décadas acreditou-se que o arreio antigo estrangulava o cavalo. Lefebvre des Noëttes testou uma reconstituição em 1910 e concluiu que dois cavalos mal passavam dos 500 kg. Em experiências publicadas em 1977, Jean Spruytte reconstruiu arreios egípcios, gregos e romanos, mostrou que a reconstituição anterior estava errada e puxou cerca de uma tonelada sobre areia com um deles. Estes trabalhos deixam à coelheira a sua utilidade para a tração lenta e pesada, como a do arado, e afastam a ideia de cavalos antigos sufocados pelo arreio.

Números-chave

Imagem clara mais antiga
Gruta 257 de Mogao, Dunhuang (China), 477–499 d.C.

Na Europa
Por volta de 800 no mundo carolíngio; difundida nos séculos XI–XII

Tamanhos de coelheira
Cerca de 16 a 24 polegadas (41–61 cm), medidas por dentro, de cima a baixo

Folga na garganta
Cerca de 5 cm, com a coelheira encostada aos ombros

Superfície de apoio (bovinos de tiro)
Cerca de 1200 cm^2 para uma coelheira almofadada nos dois ombros, contra cerca de 200 cm^2 de uma canga de pescoço (estimativa de W. Micuta)

Fontes

1. Technology in the Middle Ages (Lynn White Jr., in Technology in Western Civilization, 1967) · Oxford University Press (course reading, Manchester University) https://users.manchester.edu/facstaff/ssnaragon/kant/lp/Readings/White,%20Plow.html
2. L'attelage dans l'Antiquité. Le prestige d'une erreur scientifique (Marie-Claire Amouretti, 1991) · Annales. Économies, Sociétés, Civilisations 46-1 https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1991_num_46_1_278939
3. Roman Traction Systems: the dorsal yoke (Judith A. Weller) · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/rts/dorsal.html
4. The Lefebvre des Noëttes review page · Roman Science and Technology, humanist.de https://humanist.de/rome/ldn/index.html
5. The Swiss collar for developing countries (W. Micuta) · FAO https://www.fao.org/4/V0600T/v0600T0j.htm
6. Collars, Hames and Harness Fitting (Horse & Mule Association of America, Leaflet 276, 1944) · Small Farmer's Journal https://smallfarmersjournal.com/collars-hames-and-harness-fitting/
7. Hitching Safely (Jenifer Morrissey, with Doc Hammill) · Rural Heritage https://ruralheritage.com/hitching-safely/
8. Horse Collar Harnessing: Ancient Carriage Tech · Science and Technology Daily https://www.stdaily.com/web/English/2025-10/24/content_420664.html
9. Efficient equine transport (Pita Kelekna) · Cambridge University Press blog https://cambridgeblog.org/2009/05/efficient-equine-transport/
10. Horse collar · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Horse_collar

Factos verificados em 2026-10-14

Pólvora

O explosivo das armas de fogo e das minas

c. 850 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Domínio do fogo (p. 9), Carvão vegetal (p. 65)

1 Edifício do moinho 2 Roda hidráulica 3 Talude arborizado entre os edifícios 4 Barril de pólvora com aros de cobre 5 Polvorinho de chifre 6 Cristais de salitre

A pólvora, ou pólvora negra, é uma mistura de salitre, carvão vegetal e enxofre que arde muito depressa, libertando gás quente e uma nuvem de fumo feita de partículas sólidas. Alquimistas chineses depararam com ela no século IX e, nos quinhentos anos seguintes, tornou-se a carga propulsora de foguetes, armas de fogo e canhões, e depois uma ferramenta das minas e das grandes obras.

O que é

A pólvora é o explosivo químico mais antigo que se conhece. É um pó negro ou cinzento-escuro feito de três substâncias: salitre (nitrato de potássio), carvão vegetal e enxofre. A maior parte dos combustíveis precisa do ar para arder, mas a pólvora traz consigo o seu próprio oxigénio e, por isso, arde num espaço fechado. Numa fração de segundo, grande parte da sua massa transforma-se em gás quente, e a pressão desse gás pode expulsar uma bala do cano de uma arma ou fender a rocha.

Até ao século XIX foi o único explosivo de uso corrente e a carga propulsora de todas as armas de fogo. Hoje chama-se pólvora negra, para a distinguir das pólvoras sem fumo que a substituíram nas armas de fogo a

partir da década de 1880. Continua a usar-se no fogo de artifício, nos rastilhos, nas armas de antecarga e em algumas pedreiras.

A prancha mostra uma fábrica de pólvora do século XVIII vista de fora. Os moinhos erguiam-se muito afastados uns dos outros ao longo de um rio que lhes fazia girar as rodas, separados por taludes de terra e árvores, para que uma explosão num deles tivesse menos probabilidade de chegar ao seguinte. No Brandywine, no Delaware, muitos tinham três paredes grossas de pedra e um telhado e uma fachada leves do lado do rio, para que o sopro de uma explosão saísse por cima da água. Ao lado da cena estão um barril com aros de cobre, escolhido porque o cobre faz faíscas com muito menos facilidade do que o ferro, um polvorinho de chifre, em que soldados e caçadores levavam a pólvora, e cristais de salitre.

Como funciona

Arder é uma reação entre um combustível e o oxigénio. Numa fogueira de lenha, o oxigénio vem do ar, e o fogo só pode avançar tão depressa quanto o ar chega à madeira. Na pólvora, o oxigénio está no salitre, intimamente misturado com o combustível. Quando a pólvora aquece, o salitre decompõe-se e liberta o oxigénio junto às próprias partículas de combustível, e a reação não fica à espera do ar.

Cada ingrediente tem a sua função. O salitre é o oxidante e constitui a maior parte da massa. O carvão vegetal é o combustível principal; como é poroso, uma pequena quantidade oferece uma grande superfície ao oxigénio. O enxofre também é combustível, mas conta sobretudo porque baixa a temperatura a que a mistura se inflama e a faz arder mais depressa. A pureza do salitre e a espécie de árvore de que vinha o carvão mudavam o comportamento de uma pólvora, e por isso os polvoristas tinham tanto cuidado com os dois.

Os produtos são em parte gases, sobretudo dióxido de carbono, azoto e monóxido de carbono, e em parte sais de potássio sólidos. Pouco menos de metade da massa passa a gás. O resto sai em espesso fumo branco e num resíduo que suja o cano da arma, que tinha de ser limpo com frequência.

A pólvora deflagra: arde muito depressa, mas a reação passa de grão em grão pelo calor. Solta e ao ar livre, arde com um clarão e uma nuvem de fumo. Num cano fechado, o gás não tem por onde sair, a pressão sobe, a pólvora arde ainda mais depressa e o gás empurra o projétil para fora. Os explosivos brisantes, como o TNT ou a dinamite, detonam. Uma onda de choque atravessa-os a vários quilómetros por segundo, mais depressa do que o som se propaga no material, e a reação termina quase de imediato, com um golpe que despedaça. A pólvora dá um impulso mais longo e mais suave. É o que convém a uma carga propulsora, que tem de acelerar uma bala sem rebentar o cano, e é por isso que os canteiros a usaram durante muito tempo para fender e levantar blocos de pedra que a dinamite teria estilhaçado.

Uma faísca, uma chama, a fricção, uma pancada ou a eletricidade estática podem inflamar a pólvora, e muitos operários morreram em explosões de fábricas de pólvora. O fabrico, o armazenamento e o transporte estão sujeitos, em quase todo o lado, à legislação sobre explosivos.

História e evolução

Os alquimistas chineses da dinastia Tang aqueciam salitre, enxofre e muitas outras substâncias à procura de elixires de longa vida. Um texto taoista, geralmente datado de meados do século IX, adverte os alquimistas contra certas misturas com salitre: alguns, depois de as aquecerem, tinham queimado as mãos e a cara, e até a casa. Os historiadores discutem se um texto anterior, de 808, já descreve uma mistura semelhante. A mistura acabou por receber o nome de *huoyao*, «remédio de fogo».

Os exércitos chineses não tardaram a levá-la para a guerra. O *Wujing Zongyao*, um compêndio militar concluído em 1044, descreve armas incendiárias e de fumo e contém as fórmulas escritas mais antigas que se conservam. Um estandarte de seda de Dunhuang, pintado em meados do século X, mostra uma lança de fogo, e as tropas Song usaram lanças de fogo no cerco de De'an, em 1132. No século XIII, os defensores Jin e Song lançavam do alto das muralhas bombas de pólvora contra os exércitos mongóis que os cercavam, e o tubo da lança de fogo passou a ser de metal e a levar projéteis. O canhão de mão em bronze encontrado na província de Heilongjiang não tem data, mas o local onde apareceu liga-o a combates registados em 1288, o que faz dele uma das armas de fogo mais antigas que chegaram até nós.

A lança de fogo, um tubo de pólvora preso a uma lança, lançava chamas durante alguns segundos a curta distância.

As primeiras armas de fogo chinesas eram tubos curtos de bronze presos a uma haste de madeira.

No século XIII, o conhecimento da pólvora espalhou-se para ocidente através do império mongol e do mundo islâmico. No sultanato mameluco, o tratado do sírio Hasan al-Rammah, escrito no final do século XIII, descreve engenhos incendiários e foguetes, e o frade inglês Roger Bacon mencionou a pólvora em 1267. Os primeiros registos e imagens de armas de fogo na Europa datam da década de 1320: em 1326 a cidade de Florença encomendou canhões de metal e respetivas munições, e um tratado que Walter de Milemete escreveu em 1326-1327 para o jovem Eduardo III contém o desenho de um canhão. Vinte anos depois, os ingleses usaram provavelmente algumas peças pequenas na batalha de Crécy. No século XV, a artilharia de cerco conseguia derrubar em poucas semanas as altas muralhas medievais, e os engenheiros militares responderam com muros baixos e grossos e baluartes em ângulo.

O salitre era o ingrediente difícil de obter. Na Europa, os salitreiros tinham o direito de escavar o chão de estábulos, pombais e caves, e mais tarde os governos criaram nitreiras, onde o salitre se formava em montes de terra e estrume. No século XVII, as companhias de comércio europeias compravam grandes quantidades na Índia, no Guzerate, no Bihar e em Bengala. Em 1775, o químico Antoine Lavoisier tornou-se um dos quatro comissários da nova administração real das pólvoras de França e, a partir do seu laboratório no Arsenal de Paris, trabalhou para melhorar o abastecimento e a qualidade da pólvora francesa. No século XIX, as jazidas de nitrato de sódio do deserto chileno abasteceram as indústrias dos explosivos e dos adubos, até que, no início do século XX, químicos alemães aprenderam a produzir compostos de azoto a partir do ar.

O salitre forma-se devagar onde os resíduos orgânicos apodrecem em solo húmido e, durante séculos, foi raspado de paredes e chãos como estes.

As fábricas de pólvora contavam-se entre os locais de trabalho mais perigosos da era industrial. Os moinhos da família du Pont no Brandywine, no Delaware, abertos em 1802, tiveram 288 explosões e pelo menos 228 mortos antes de fecharem, em 1921. À entrada, os operários eram revistados à procura de fósforos e de metal na roupa e no calçado. A pólvora abriu canais, túneis e minas: um dos registos mais antigos do seu uso para rebentar rocha numa mina vem de Banská Štiavnica, no Reino da Hungria, em 1627. A partir da década de 1870, a dinamite substituiu-a na maior parte dos trabalhos de rebentamento, e as pólvoras sem fumo à base de nitrocelulose

tomaram o seu lugar nas armas de fogo nas décadas de 1880 e 1890. Sobrevive no fogo de artifício, nos rastilhos e entre quem dispara armas históricas.

Números-chave

Um aviso escrito antigo
Meados do século IX, texto alquímico taoista, China

Uma das armas de fogo mais antigas que se conservam
Canhão de mão em bronze de Heilongjiang, datado pelo contexto de cerca de 1288

Fábricas de pólvora du Pont, Delaware (1802–1921)
288 explosões, pelo menos 228 mortos

Fórmulas escritas mais antigas que se conservam
1044, compêndio militar Wujing Zongyao

Primeira imagem europeia de uma arma de fogo
1326-1327, manuscrito de Walter de Milemete, Inglaterra

Fontes

1. China in 1000 CE, Song dynasty module: gunpowder · Asia for Educators, Columbia University https://afe.easia.columbia.edu/songdynasty-module/tech-gunpowder.html
2. Christ Church MS 92: Walter of Milemete, De nobilitatibus, sapientiis et prudentiis regum (1326–1327) · Christ Church, Oxford (manuscript catalogue) https://www.chch.ox.ac.uk/sites/default/files/2023-09/MS-92.pdf
3. Eleutherian Mills (Hagley), National Register of Historic Places nomination form · U.S. National Park Service https://npgallery.nps.gov/NRHP/GetAsset/NHLS/66000259_text
4. Powder Yard Trail · Hagley Museum and Library https://www.hagley.org/pyt
5. Antoine-Laurent Lavoisier · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/antoine-laurent-lavoisier/
6. History of gunpowder · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_gunpowder
7. Heilongjiang hand cannon · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Heilongjiang_hand_cannon

Factos verificados em 2026-10-12

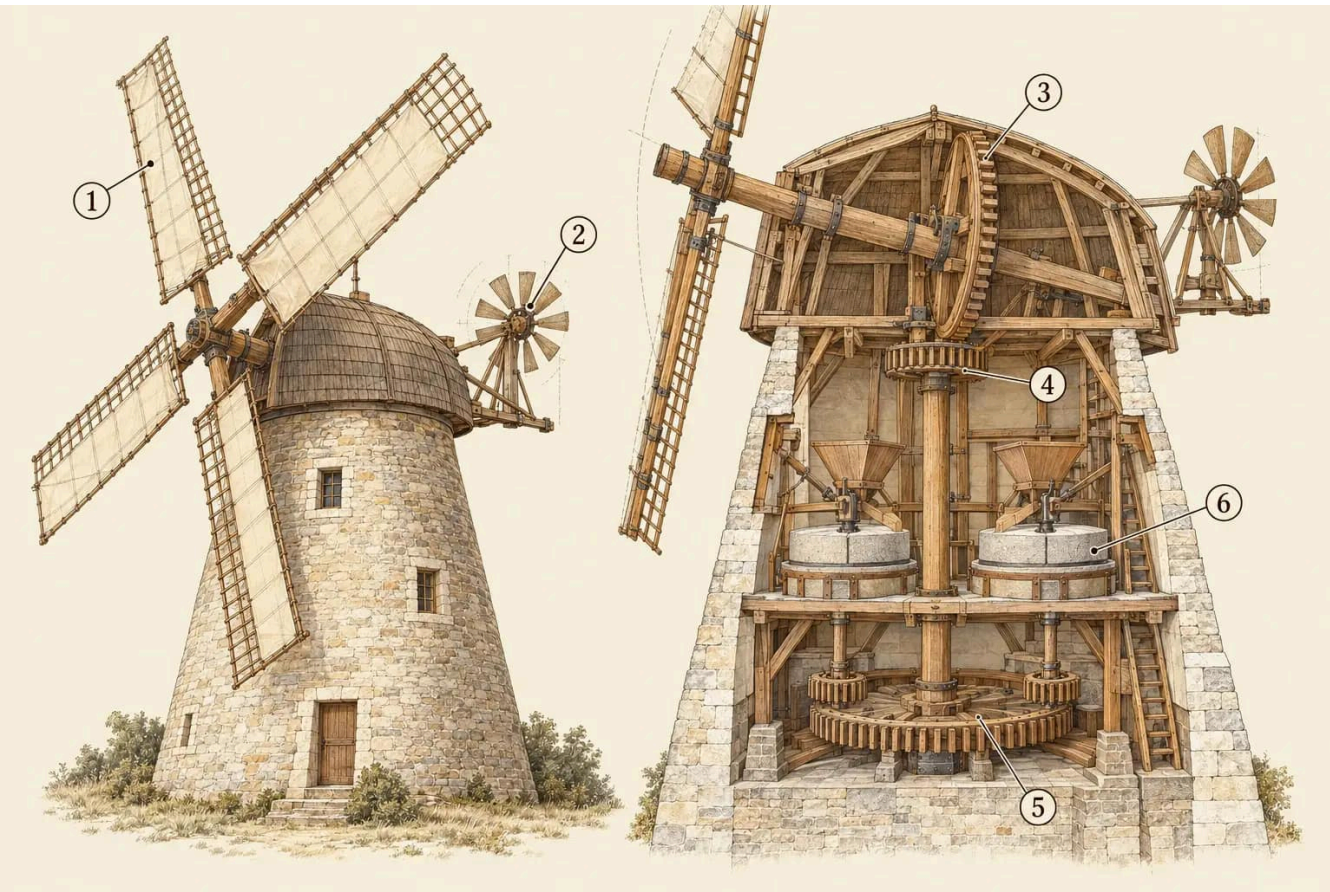
Moinho de vento

O vento transformado em farinha

c. 900 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Engrenagens (p. 153), Roda hidráulica (p. 157), Corda e cordame (p. 13)

Conduz a: Turbina eólica (p. 339)



1 Velas 2 Leque de orientação 3 Roda do travão 4 Lanterna 5 Grande roda dentada 6 Mós

Um moinho de vento capta o vento com grandes velas e transmite essa energia, através de engrenagens de madeira e ferro, a uma mó que esmaga o grão. Do século XII até à chegada do vapor foi, a par da roda hidráulica, a principal fonte de força mecânica na Europa.

O que é

Um moinho de vento é uma máquina que transforma o movimento do ar em rotação, e essa rotação em trabalho útil. Durante a maior parte da sua história, esse trabalho foi moer cereal para fazer farinha. Os moinhos de vento também drenaram pôlderes, serraram madeira, prensaram sementes oleaginosas e trituraram pigmentos.

O moinho desenhado aqui é um moinho de torre: uma torre fixa de pedra com um capelo que roda para pôr as velas de frente para o vento. Este tipo espalhou-se pela Europa a partir do fim da Idade Média, porque a alvenaria aguenta velas grandes e maquinaria pesada e protege tudo do tempo.

Como funciona

O vento empurra as velas, que estão ligeiramente torcidas e inclinadas. Comportam-se como as pás de uma hélice: parte do impulso transforma-se num binário que faz rodar o eixo das velas, um veio pesado, quase horizontal, apoiado no capelo.

O moinho de poste roda inteiro sobre o seu poste; no moinho de torre só roda o capelo.

Nesse eixo está a roda do travão, uma roda grande com os dentes cravados numa das faces. Engrena na lanterna, mais pequena, montada no veio vertical, e assim o movimento passa de horizontal a vertical e ganha velocidade. Mais abaixo, a grande roda dentada faz girar um pequeno carreto no eixo de cada par de mós. No moinho de Gedney Dyke, no Lincolnshire, uma roda do travão de 96 dentes movia uma lanterna de 68, e uma grande roda de 120 dentes carretos de 18: no total, as mós rodavam cerca de nove vezes mais depressa do que as velas.

A andadeira assenta na segurelha, no topo do veio de ferro que atravessa a mó pousadeira.

O veio de ferro sobe através da mó fixa, a pousadeira. No topo tem a segurelha, uma barra ou cruz de ferro que encaixa em rebaixos do olho da mó de cima, a andadeira, e suporta todo o seu peso. Em alguns moinhos a grande roda fica acima das mós e o movimento desce por um veio curto de ferro, mas a andadeira continua apoiada no veio de baixo. O grão cai da tremonha para o olho. Os sulcos picados nas duas pedras cortam-no e empurram a moenda para a borda, de onde sai em farinha. O moleiro sobe ou desce o veio com o aliviadouro, e essa folga decide se a farinha sai fina ou grossa.

A potência do vento cresce com o cubo da sua velocidade: um vento duas vezes mais forte traz oito vezes mais energia. Nenhum rotor consegue aproveitar mais de 59,3%, o limite publicado por Albert Betz em 1920. Os moinhos tradicionais ficam muito abaixo desse valor.

Como construir

Um moinho de vento exige uma comunidade organizada: carpinteiros, pedreiros, um ferreiro e um moleiro que saiba picar as mós. Os passos seguintes dão a ordem do trabalho e as escolhas que contam; as medidas ficam a cargo do construtor de moinhos.

Escolher o local. Um outeiro descampado, longe de árvores e edifícios, virado ao vento dominante. A sotavento de uma árvore ou de uma casa, o ar fica turbulento ao longo de cerca de vinte vezes a sua altura, por isso convém afastar os obstáculos do lado de onde sopra o vento.

Erguer a torre. Uma torre troncocónica de pedra ou tijolo, com paredes grossas na base. No topo leva um anel nivelado de madeira ou ferro, sobre o qual o capelo roda em roletes.

Talhar o eixo e as rodas. O eixo das velas é desbastado num tronco de carvalho e reforçado com ferro onde gasta; a partir do fim do século XVIII muitos passaram a ser de ferro fundido. As rodas são de madeira dura e os dentes são peças soltas, muitas vezes de carpino ou de macieira, trocadas quando se gastam.

Fazer as velas. Quatro braços levam cada um uma grade de ripas sobre a qual se estende um pano. Com o moinho parado e as velas presas, o moleiro abre mais ou menos pano em cada vela conforme o vento, como um

marinheiro que riza uma vela.

Escolher as mós. A pedra tem de ser dura e porosa. A pedra francesa de La Ferté-sous-Jouarre era procurada em toda a Europa. A mó costumava ser montada com vários pedaços unidos com gesso e cintados com aros de ferro.

Montar o travão. Uma cinta de madeira aperta o aro da roda do travão. Tem de segurar as velas com vento forte, por isso testa-se primeiro com brisa fraca, e um construtor de moinhos deve confirmar que, com as correntes das velas, aguenta um temporal antes de o moinho começar a trabalhar.

> **Segurança.** Nunca passar no percurso das velas, mesmo quando rodam devagar, e nunca mexer numa vela sem antes apertar o travão e prender as velas. Vigiar o tempo: recolher os panos e imobilizar o moinho antes de chegar o temporal, porque em plena ventania ninguém consegue trabalhar nas velas. Lá dentro, manter mãos, cabelo e roupa larga longe das engrenagens e dos veios em movimento. Um travão sobreaquecido pode incendiar o capelo, e muitos moinhos arderam assim. O pó de farinha no ar é inflamável: nenhuma chama aberta lá dentro.

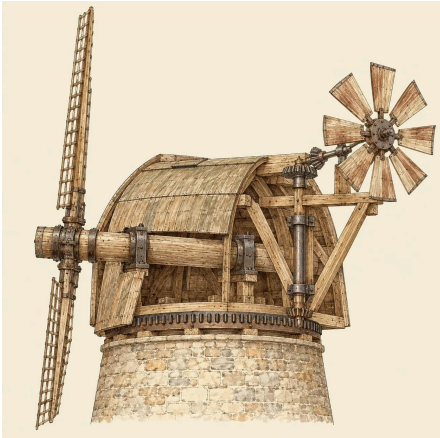
História e evolução

Os primeiros moinhos de vento bem documentados ficavam no Sistão, na atual fronteira entre o Irão e o Afeganistão. Geógrafos árabes descrevem-nos no século X, e talvez sejam mais antigos. As suas velas giram em torno de um eixo vertical, entre muros que canalizam o vento.

O moinho de eixo horizontal surge na Europa no fim do século XII. Um dos registos datados mais antigos é o de um moinho de poste em Weedley, no Yorkshire, inscrito em 1185 num inventário das terras dos Templários. O moinho de torre, em que só roda o capelo, espalhou-se depois e permitiu moinhos muito maiores.

Em 1745 o ferreiro inglês Edmund Lee patenteou o leque de orientação, uma pequena roda de pás na traseira do capelo. Quando o vento muda, o leque começa a girar e arrasta o capelo até as velas voltarem a ficar de frente para o vento. Em 1772 o construtor de moinhos escocês Andrew Meikle introduziu as velas de mola, feitas de persianas que se abrem sozinhas com as rajadas.

A meio do século XIX, os Países Baixos tinham entre nove e dez mil moinhos de vento, para moer e sobretudo para drenar terras. A máquina a vapor e depois o motor elétrico substituíram-nos; hoje restam lá cerca de mil. As turbinas eólicas modernas usam a mesma física do rotor para acionar geradores.



O leque faz rodar o capelo sobre o anel dentado até as velas voltarem a ficar de frente para o vento.

Números-chave

Velocidade das velas
Cerca de 10–15 rpm com vento de trabalho

Velocidade da mó andadeira
Cerca de 100–150 rpm

Potência
Cresce com o cubo da velocidade do vento

Limite teórico
59,3% da energia do vento (limite de Betz)

Fontes

1. Windmill · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Windmill
2. Betz's law · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
3. Fantail (windmill) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fantail_(windmill)
4. Technical descriptions of English windmills · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/2019/09/13/technical-descriptions-of-english-windmills/31
5. Weedley windmill site (R. Gregory) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org/library/index/?which=8434
6. First Windmill Use · Environment & Society Portal, Rachel Carson Center https://www.environmentandsociety.org/taxonomy/term/5347

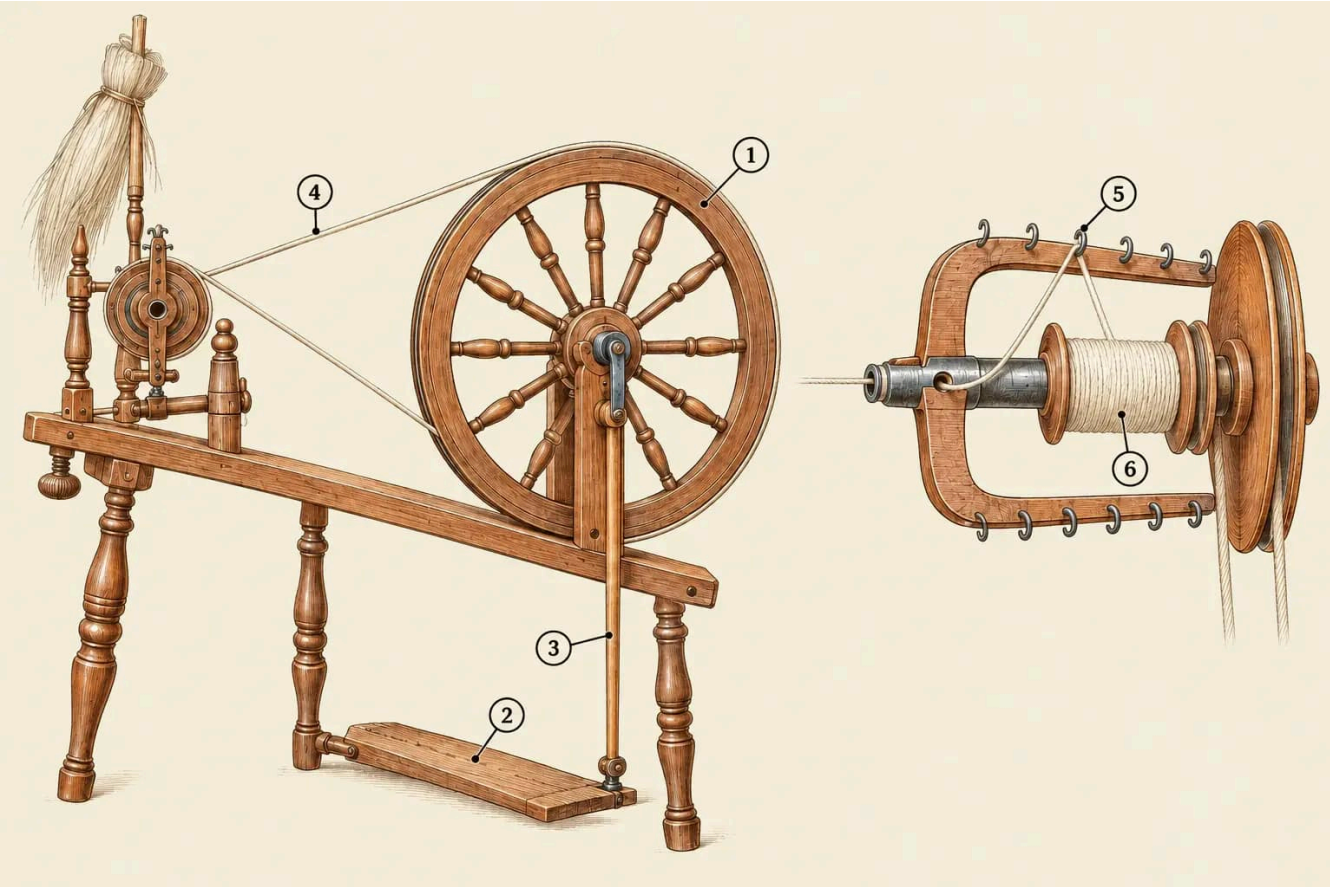
Factos verificados em 2026-10-11

Roda de fiar

A fibra em fio, mais depressa

c. 1000 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Roda e eixo (p. 81), Corda e cordame (p. 13)



1 Roda motriz 2 Pedal 3 Biela (vara do pedal) 4 Corda de transmissão 5 Alhetas com ganchos 6 Bobina

A roda de fiar torce a fibra em fio com um fuso movido por uma roda grande, muito mais depressa do que um fuso de mão. A roda de fiar com alhetas, conhecida na Alemanha por volta de 1480, enrola ainda o fio numa bobina enquanto o fia, de modo que fiar e enrolar já não alternam.

O que é

Fiar é transformar uma massa de fibras curtas, como a lã, o linho ou o algodão, num fio contínuo. Acontecem duas coisas ao mesmo tempo: as fibras são esticadas numa mecha fina e regular, e a mecha é torcida para que as fibras se prendam umas às outras. É a torção que dá força ao fio.

Durante milénios fez-se isto com o fuso de mão, um pau com um peso, o cossoiro, que os dedos põem a girar. A roda de fiar monta o fuso numa armação e move-o com uma roda grande através de uma corda. Uma volta da roda grande faz o pequeno fuso dar muitas voltas, e ele torce assim muito mais depressa do que uma mão conseguiria.

A prancha mostra uma roda saxónica, de pedal e alhetas, do tipo espalhado por toda a Europa a partir do século XVI, aqui num modelo do século XVIII.

Como funciona

Na roda grande, um dos tipos antigos, o fuso aponta simplesmente para a fiandeira. A fiandeira faz girar a roda, segura a fibra em ângulo com a ponta do fuso e recua, esticando um troço de fio enquanto a torção sobe por ele. Depois para, segura o fio perpendicular ao fuso e volta a rodar a roda para enrolar o troço fiado. Fiar e enrolar alternam.

Antes da roda: fuso e roca. O cossoiro mantém o fuso a girar.

As alhetas eliminam essa pausa. O fio entra num fuso oco por um orifício na ponta da frente, sai por um furo lateral, percorre um braço de umas alhetas em U, passa por um dos seus ganchos e enrola-se numa bobina que gira solta no fuso. Alhetas e bobina têm cada uma a sua roldana com gorne, de tamanhos diferentes. Uma única corda sem fim dá duas voltas à roda grande e uma volta a cada roldana, de modo que a roldana da bobina, mais pequena, gira um pouco mais depressa do que as alhetas.

A rotação das alhetas torce o fio. A pequena diferença de velocidade entre bobina e alhetas enrola-o tão depressa quanto é fiado. De vez em quando a fiandeira para a roda e passa o fio de um gancho para outro para a bobina encher por igual, e ajusta um parafuso de tensão que desloca o conjunto das alhetas ao longo da banca para esticar ou afrouxar a corda.

As cardas de mão: a lã é cardada entre duas cardas e enrolada em rolos prontos a fiar.

O pedal liberta as duas mãos. Uma manivela no eixo da roda está ligada por uma vara de madeira, a biela, a uma tábua articulada debaixo do pé da fiandeira. Cada pisadela dá um impulso à roda. Uma mão fornece a fibra, a partir de uma roca ou de um rolo de lã cardada, e a outra controla a torção. As rodas saxónicas serviam sobretudo para fibras compridas como o linho e a lã. O linho põe-se numa roca e tiram-se dela poucas fibras de cada vez. A lã é primeiro cardada entre duas cardas de mão e enrolada num cilindro macio, para que as fibras fiquem soltas e se estiquem por igual.

Como construir

Uma roda com alhetas exige peças torneadas e um ajuste cuidadoso, trabalho para um marceneiro experiente com torno. Uma roda mais simples, do tipo mais antigo, mostra o princípio e fia lã.

Fazer a banca. Uma tábua sólida com cerca de 1 m sobre três ou quatro pernas, alta o suficiente para trabalhar sentado ou de pé. Numa ponta, fixe um poste para a roda; na outra, um poste mais curto para a cabeça do fuso.

Montar a roda. Serve qualquer roda grande, que gire certa e tenha o aro com gorne: uma roda de madeira com cubo, raios e aro, ou uma roda velha de bicicleta sem pneu. Monte-a num eixo no poste e junte uma pega perto do aro para a rodar.

Fazer a cabeça do fuso. Dois pequenos prumos no poste curto seguram uma vara de aço direita, aguçada numa ponta, em laços de couro ou pequenos rolamentos. Fixe uma pequena roldana com gorne na vara, entre os prumos. A vara fica atravessada na banca, paralela ao eixo da roda, com a roldana exatamente alinhada com o gorne da roda para a corda correr direita; a ponta fica virada para o lado onde se coloca.

Pôr a corda. Ate um laço de cordel forte de algodão à volta do aro e da roldana do fuso, esticado o suficiente para mover o fuso sem patinar. Com uma roda de diâmetro cerca de dez vezes o da roldana, o fuso dá umas dez voltas por cada volta da roda.

Fiar. Ate um fio de arranque à haste do fuso, enrole umas voltas e depois leve-o em espiral até à ponta, para que saia por ela. Sobreponha a ponta dele à lã cardada, rode a roda devagar e recue em ângulo com a ponta, deixando a torção subir pela fibra. Para enrolar, rode a roda um pouco para trás para soltar a espiral, segure o fio perpendicular ao fuso e rode para a frente; depois volte a levar o fio em espiral até à ponta para o troço seguinte. Quando o fuso estiver cheio, passe o fio para o sarilho de mão, ate a meada sem apertar em vários pontos, tire-a e lave-a para fixar a torção.

O sarilho de mão: o fio fiado é enrolado numa meada de comprimento conhecido antes de ser lavado e tingido.

> **Segurança.** Mantenha dedos, cabelo e mangas largas longe da roda a girar, da corda e do fuso, pare a roda antes de desfazer um enredo, e tape a ponta aguçada do fuso quando a roda não estiver a ser usada. Verifique que a roda de bicicleta ou de madeira está bem presa e não oscila antes de a rodar depressa. Mantenha as crianças pequenas longe de uma roda em movimento.

História e evolução

A origem da roda de fiar é discutida. Alguns historiadores situam-na na Índia, entre cerca de 500 e 1000 d.C., outros na China, onde era muito usada por volta de 1090, ou no mundo islâmico, onde está documentada por volta de 1030 e claramente representada em Bagdade na década de 1230. Chegou à Europa no século XIII; as imagens europeias datam de cerca de 1280, e os regulamentos dos ofícios de Espira, na Alemanha, mencionam-na em finais do século XIII (em 1280 ou em 1298, conforme a fonte). Na Europa, roda e fuso conviveram durante muito tempo.

As alhetas aparecem numa ilustração alemã de cerca de 1480, e Leonardo da Vinci também desenhou umas. O pedal foi acrescentado no século XVI; uma tradição atribui-o a um artesão de Brunswick em 1533. Em comparação com o fuso, a roda aumentou muito a produção de uma fiandeira. O historiador Lynn White ligou à roda a maior abundância de trapos de linho e, portanto, de papel barato para a imprensa.

Na década de 1760, James Hargreaves construiu a spinning jenny, que movia muitos fusos ao mesmo tempo, e a water frame de Richard Arkwright e a mule de Samuel Crompton, de 1779, levaram a fiação para as fábricas. No século XX, Mahatma Gandhi fez da charkha, uma roda simples de manivela, o emblema da autossuficiência indiana, e ainda hoje há quem fie à mão em rodas de pedal.

Números-chave

Primeiras rodas de fiar
Discutido: Índia, China ou mundo islâmico, o mais tardar no século XI

Primeiras alhetas
Ilustração alemã de cerca de 1480

Menção antiga na Europa
Regulamentos dos ofícios de Espira (Alemanha), finais do século XIII

Pedal
Acrescentado no século XVI

Fontes

1. Spinning Wheel, British (Saxony wheel with flyer) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44835
2. Spinning (Bette Hochberg, Encyclopedia of Clothing and Fashion) · Encyclopedia.com (Gale) https://www.encyclopedia.com/fashion/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/spinning
3. Saxon wheel; spinning wheel · Horniman Museum and Gardens https://www.horniman.ac.uk/object/11.40
4. Spinning wheel · Aotea Utanganui, Museum of South Taranaki https://museumofsouthtaranaki.wordpress.com/2016/03/11/spinning-wheel/
5. Spinning wheel · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Spinning_wheel
6. Choosing the whorl to make the yarn you want (Rudy Amann) · Spin Off https://spinoffmagazine.com/choosing-the-whorl-to-make-the-yarn-you-want/
7. Sliding hook flyer, double drive: assembly instructions · Ashford Wheels & Looms https://ashford.co.nz/instructions/SHFDD.pdf
8. DRS spinning wheels revisited · A Fisherman Knits http://gansey.blogspot.com/2018/07/drs-spinning-wheels-revisited.html

Factos verificados em 2026-10-12

Bússola

Uma agulha que aponta o norte

c. 1088 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Metalurgia do ferro (p. 136), Aço (p. 140)

Conduz a: Navegação astronómica (p. 210)

1 Anéis cardânicos 2 Cuba 3 Rosa dos ventos 4 Agulha magnetizada 5 Estilete 6 Pedra-íman

Uma bússola magnética é uma agulha magnetizada, livre para rodar, que se alinha com o campo magnético da Terra e assim indica o norte com qualquer tempo. Descrita na China no século XI e usada no mar na Europa por volta de 1190, permitiu aos marinheiros manter o rumo longe da vista de terra e com o céu encoberto.

O que é

Uma bússola é um pequeno íman que pode rodar livremente. Deixado a si próprio, coloca-se ao longo das linhas do campo magnético da Terra, com uma ponta virada para o norte magnético e a outra para o sul magnético. Um navegador que sabe onde fica o norte consegue ler a partir dele todas as outras direções, de noite, com nevoeiro ou longe da vista de terra.

A prancha mostra uma agulha de marear do século XVI. A agulha magnetizada está colada por baixo de um cartão de papel pintado com uma rosa dos ventos, de modo que toda a rosa roda com ela. A rosa assenta num estilete

dentro de uma cuba de madeira, e a cuba está suspensa em anéis cardânicos para se manter nivelada quando o navio balança.

Como funciona

A Terra comporta-se mais ou menos como um enorme íman em barra. O seu campo é fraco, cerca de meio gauss à superfície, mas uma agulha leve num bom estilete precisa de muito pouca força para rodar. A agulha oscila até o seu próprio campo se alinhar com a componente horizontal do campo terrestre, e depois para.

Esfregada numa pedra-íman, uma agulha de aço torna-se ela própria um íman.

Primeiro é preciso magnetizar a agulha. No ferro e no aço, pequeníssimas regiões chamadas domínios comportam-se cada uma como um íman, mas apontam em todas as direções e anulam-se umas às outras. Esfregar a agulha sempre no mesmo sentido com uma pedra-íman, um pedaço de magnetite naturalmente magnético, alinha muitos deles, e a agulha conserva essa ordem. O aço duro retém-na melhor. O ferro macio perde-a depressa, e até meados do século XVIII os marinheiros tinham de cevar as agulhas com uma pedra-íman guardada a bordo.

Um método antigo: uma agulha sobre um flutuador, a rodar livremente em água parada.

O norte magnético não é o polo geográfico, e o ângulo entre os dois, a declinação, varia de lugar para lugar e lentamente ao longo dos anos. O campo é também inclinado: no hemisfério norte puxa para baixo a ponta norte da agulha, no hemisfério sul a ponta sul, com mais força perto dos polos magnéticos, por isso os fabricantes de bússolas equilibram a agulha com um pequeno peso. A bordo, as ferragens de ferro e a carga também desviam a agulha, um erro a que se chama desvio.

Na prancha, o estilete pontiagudo e o pequeno capitel da agulha reduzem o atrito. A rosa permite ao timoneiro ler o rumo em relação a uma marca fixa na cuba. A tampa de vidro protege do vento, e os anéis cardânicos impedem a rosa de se inclinar quando o navio balança.

Como construir

Fazer a agulha. Use uma agulha de costura de aço ou uma tira fina de aço duro com cerca de 5 cm. Um ferro demasiado macio não fica magnetizado.

Magnetizá-la. Esfregue a agulha do meio para uma das pontas com um polo de uma pedra-íman ou de um íman, afastando a pedra num arco largo no fim de cada passagem. Repita vinte ou trinta vezes, sempre no mesmo sentido.

Testá-la na água. Espete a agulha num pedaço curto de cortiça ou de cana seca e ponha-a a flutuar numa tigela de água parada, longe de qualquer ferro. Descubra qual das pontas indica o norte e marque-a. A norte dos trópicos, confirme-o à noite pela estrela polar ou pela sombra mais curta do meio-dia solar, que então aponta para norte; a sul dos trópicos essa sombra aponta para sul.

Dar-lhe um estilete. Pressione um pequeno cone num retalho de latão fino para fazer um capitel e fixe-o no centro da agulha. Espete na vertical uma ponta de agulha afiada no fundo de uma cuba de madeira e pouse o capitel sobre ela. Equilibre a agulha com um pouco de cera até ficar nivelada.

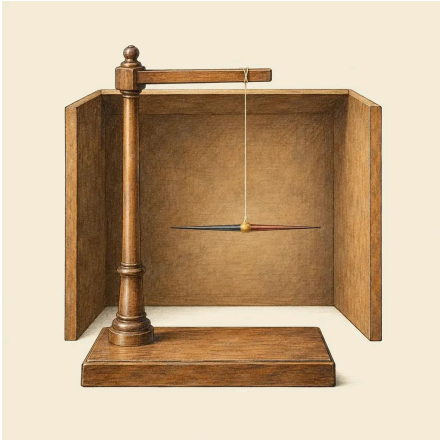
Juntar a rosa e a tampa. Cole a agulha por baixo de um cartão leve marcado com os rumos da rosa, com a marca do norte sobre a ponta norte da agulha. Pinte no interior da cuba uma marca fixa, a linha de fé, alinhada com a proa: o rumo lê-se na rosa em frente a ela. Um vidro sobre a cuba protege-a das correntes de ar.

Suspendê-la. Para um modelo de agulha de marear, monte a cuba em dois anéis articulados em ângulo reto um em relação ao outro. Uma bússola caseira é uma demonstração: não navegue com ela sem a comparar antes com uma bússola fiável.

História e evolução

Tanto na China como na Grécia sabia-se, há mais de dois mil anos, que a pedra-íman atrai o ferro. Textos da dinastia Han referem um objeto que apontava para sul, usado na adivinhação, talvez uma colher de pedra-íman, embora os historiadores discordem sobre o que era.

O manual militar *Wujing Zongyao*, compilado por volta de 1044, descreve um peixe de ferro fino aquecido ao rubro, arrefecido na direção norte-sul e depois posto a flutuar na água, onde apontava para sul. Por volta de 1088, Shen Kuo descreveu agulhas magnetizadas por fricção numa pedra-íman, postas a flutuar na água ou suspensas de um fio de seda. Notou também que a agulha aponta ligeiramente a leste do sul exato, um dos primeiros registos da declinação. Entre 1111 e 1117, Zhu Yu escreveu que os pilotos dos navios observavam a agulha quando as nuvens escondiam o sol e as estrelas.



Para Shen Kuo, a melhor montagem era uma agulha suspensa de um único fio de seda.

Na Europa, o erudito inglês Alexander Neckam descreveu, por volta de 1190, marinheiros que usavam uma agulha magnetizada. Um texto persa de 1232 dá a primeira menção no mundo islâmico. Em 1269, Petrus Peregrinus descreveu uma bússola seca sobre estilete, e por volta de 1300 a bússola seca de caixa com rosa espalhou-se pelo Mediterrâneo.

As bússolas de líquido, que amortecem as oscilações da rosa, impuseram-se no século XIX e no início do século XX, e na primeira década do século XX surgiu a girobússola, que encontra o norte verdadeiro sem recorrer ao magnetismo.

Números-chave

Peixe de ferro a flutuar na água
Wujing Zongyao, c. 1044

Bússola de agulha e declinação descritas
Shen Kuo, c. 1088

Primeiro uso documentado no mar
China, entre 1111 e 1117

Primeira menção europeia
Alexander Neckam, c. 1190

Intensidade do campo terrestre
Cerca de 0,5 gauss (50 microteslas)

Fontes

1. History of the compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_compass
2. Compass · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Compass
3. Shen Kuo: first Renaissance man · AAAS https://www.aaas.org/shen-kuo-first-renaissance-man
4. Lodestone, c. 1700–1720 (NAV0710) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-42922
5. Dry card compass, 1838 (ACO0005) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-7085

Factos verificados em 2026-10-11

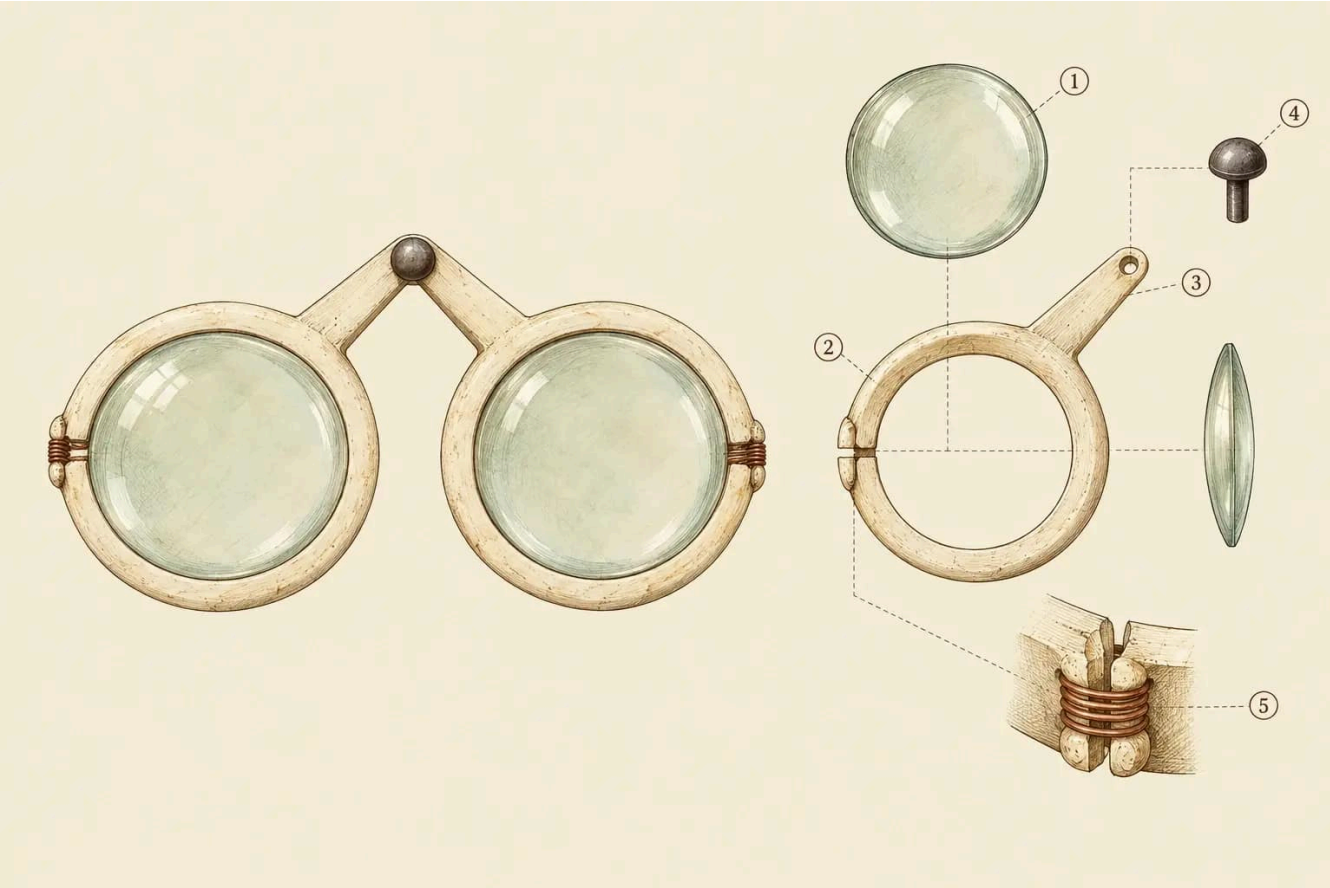
Óculos

Lentes que prolongam uma vida de trabalho

c. 1286 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Vidro (p. 132)

Conduz a: Microscópio (p. 214), Telescópio (p. 218)



1 Lente de vidro biconvexa 2 Aro de osso 3 Cabo 4 Rebite de ferro 5 Amarração de fio de cobre

Os óculos são duas lentes presas numa armação diante dos olhos para corrigir a presbiopia, a hipermetropia, a miopia ou o astigmatismo. Surgiram em Itália na década de 1280 como ajuda à leitura para pessoas mais velhas; as lentes para míopes chegaram no século XV e as hastes no século XVIII.

O que é

Os óculos põem uma lente diante de cada olho, para que a luz chegue à retina já desviada na medida certa. Os primeiros ajudavam quem tinha quarenta anos ou mais a ler e a fazer trabalhos finos, quando focar à distância de leitura se tinha tornado difícil.

O par da prancha é o tipo mais antigo, os óculos de rebite dos séculos XIV e XV. Cada vidro está engastado num aro talhado em osso, madeira ou chifre. De cada aro sai um cabo curto, e os dois cabos estão unidos por um único rebite. Não há hastes: o rebite assenta na cana do nariz e os aros apertam-no dos dois lados, pelo que quem os usava tinha de manter a cabeça direita ou segurá-los com uma mão.

Como funciona

Dentro do olho, uma lente mole, o cristalino, muda de forma para focar o que está perto ou longe. Com a idade endurece, e o ponto mais próximo que o olho vê nítido afasta-se: a poucos centímetros do rosto numa criança, acaba fora do alcance dos braços na maioria das pessoas de sessenta anos. É a presbiopia, ou vista cansada, e é por isso que os primeiros óculos foram de leitura.

Uma lente convexa, mais grossa no centro do que na borda, faz convergir um pouco a luz antes de entrar no olho e faz assim parte do trabalho que o cristalino já não faz. Os optometristas medem essa potência em dioptrias, o inverso da distância focal em metros. Uma lente de leitura de +2 dioptrias concentra a luz paralela num ponto a 50 cm atrás dela.

A pedra de leitura, uma cúpula de cristal ou de vidro pousada na página, foi a lupa que antecedeu os óculos.

A miopia é outro defeito de focagem, que pode juntar-se à presbiopia. O globo ocular é um pouco comprido demais, ou a sua ótica demasiado forte, e o que está longe fica desfocado. Uma lente côncava, mais fina no centro, abre ligeiramente a luz antes do olho e devolve a imagem à retina. Em Florença já se talhavam lentes destas no século XV. No astigmatismo, a potência do olho difere em duas direções perpendiculares, pelo que as linhas de uma certa orientação ficam mais desfocadas do que as outras. Corrigi-lo exige uma lente mais curva numa direção do que na outra, e essas lentes só vieram muito mais tarde.

Como construir

Uns óculos de rebite como os da prancha pedem duas lentes, um pedaço de osso ou de madeira dura, fio de cobre e um pequeno rebite.

O vidro em bruto, colado com pez a um cabo de madeira, era desbastado com abrasivo molhado numa ferramenta de bronze e depois polido em couro.

Arranjar as lentes. Para um par através do qual vá mesmo olhar, tire duas lentes de uns óculos de leitura baratos. Talhá-las à mão é uma demonstração histórica: como um antigo oculeiro, esfrega-se um disco de vidro com cerca de 4 cm com abrasivo molhado dentro de uma ferramenta escavada com a curva pretendida, passando a grãos cada vez mais finos, e depois pule-se com rouge sobre couro ou feltro. Para uma lente de vidro comum de +2 dioptrias, cada face precisa de um raio de curvatura de cerca de 50 cm, uma curva muito suave. Uma lente talhada à mão não terá uma potência exata, e o seu centro ótico não ficará alinhado com as pupilas.

Cortar os aros. Marcar a compasso dois círculos um pouco maiores do que as lentes numa placa de osso ou de buxo e recortá-los com uma serra fina, deixando em cada um uma lingueta para o cabo. Abrir por dentro de cada aro uma ranhura em V que receba a borda da lente.

Abrir e amarrar. Serrar cada aro do lado oposto ao cabo. Abrir ligeiramente o anel, meter a lente na ranhura e fechar o corte dando várias voltas de fio de cobre fino em torno de dois pequenos ressaltos deixados de cada lado.

Rebitar os cabos. Fazer um pequeno furo na ponta de cada cabo, sobrepô-los e colocar um rebite de cobre ou de ferro, batido só o suficiente para que as duas metades ainda possam dobrar. Limar pequenos entalhes na borda interior, onde os aros tocam o nariz, para segurarem melhor.

> **Segurança.** Trabalhe o vidro molhado e use máscara contra poeiras: o pó de vidro e de abrasivo faz mal aos pulmões. Proteja os olhos ao furar o osso e ao cortar o fio, e manuseie com cuidado o vidro talhado. Nunca olhe para o Sol através de uma lente nem deixe uma ao sol perto de papel ou madeira, porque pode provocar um incêndio. Este par é uma réplica: não o use em vez de óculos receitados e ajustados por um optometrista ou oftalmologista, e nunca conduza com ele.

História e evolução

Muito antes dos óculos já se ampliava a escrita com cristais e vidros polidos. O passo de montar uma lente numa armação diante de cada olho deu-se em Itália por volta de 1280-1290. Não se sabe onde exatamente: Pisa e Florença são muitas vezes apontadas, e uma ordenança veneziana de 1300 já punia os vidreiros que vendiam como cristal de rocha «discos para os olhos» de vidro. Num sermão pregado em Florença em 1306, o dominicano Giordano da Pisa afirmou que a arte de fazer óculos ainda não tinha vinte anos e que ele próprio falara com o homem que os fizera pela primeira vez. O nome desse homem não chegou até nós.

A pintura de óculos mais antiga que se conhece é um fresco de 1352 de Tommaso da Modena, na sala do capítulo de San Nicolò, em Treviso, onde um cardeal dominicano lê com uns óculos de rebite. As armações verdadeiras raramente sobrevivem. Um par em osso do século XV foi encontrado em Trig Lane, junto ao Tamisa, em Londres, numa época em que a cidade importava todos os anos milhares de óculos dos Países Baixos. Em 1466 o duque de Milão encomendou duzentos pares graduados por idade, sinal de que a potência das lentes já estava bastante normalizada.

No início do século XVI os óculos já corrigiam a miopia tal como a presbiopia, e pontes de couro ou de barba de baleia tinham substituído o rebite. Por volta de 1730, atribui-se ao oculista londrino Edward Scarlett a introdução de hastes rígidas que apertavam os lados da cabeça. Em cartas de 1784 e 1785, Benjamin Franklin descreveu os seus «óculos duplos», com meia lente para longe e meia para ler. No século XIX surgiu o pince-nez, preso ao nariz por uma mola, e no século XX as armações de plástico, as lentes orgânicas, mais leves, e mais tarde as de índice elevado, mais finas.

Óculos duplos do final do século XVIII: em cima a lente para longe, em baixo a de leitura.

Números-chave

Primeiro documento veneziano
Ordenança de 2 de abril de 1300 sobre «discos para os olhos» de vidro

Primeiros óculos pintados
1352, fresco de Tommaso da Modena em Treviso

Hastes
Atribuídas ao oculista londrino Edward Scarlett, por volta de 1730

Testemunho sobre a data
Sermão de Giordano da Pisa, Florença, 1306: a arte «ainda não tem vinte anos»

Lente de leitura habitual
+2 dioptrias, ou seja, 50 cm de distância focal

Fontes

1. History of spectacles · College of Optometrists, British Optical Association Museum https://www.college-optometrists.org/history-of-spectacles
2. Spectacles (bone rivet spectacles from Trig Lane) · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/v/object-407684/spectacles/
3. Medieval Eyeglasses: Wearable Technology of the Thirteenth Century · Medievalists.net https://www.medievalists.net/2016/03/medieval-eyeglasses-wearable-technology-of-the-thirteenth-century/
4. The Earliest Depiction of Eyeglasses in a Painted Work of Art · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=1447
5. A Venetian ordinance on the production of lenses (2 April 1300) · HistoryofInformation.com https://historyofinformation.com/detail.php?id=2217
6. Renaissance Vision from Spectacles to Telescopes (Vincent Ilardi, 2007), book description · American Philosophical Society, via Goodreads https://www.goodreads.com/book/show/1685277.Renaissance_Vision_from_Spectacles_to_Telescopes
7. Benjamin Franklin invents bifocal glasses · HISTORY.com https://www.history.com/this-day-in-history/may-23/benjamin-franklin-invents-bifocal-glasses
8. University Physics Volume 3, 2.5 The Eye · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-5-the-eye
9. Presbyopia · EyeWiki, American Academy of Ophthalmology https://eyewiki.org/Presbyopia
10. A Review of Depth of Focus in Measurement of the Amplitude of Accommodation (Burns, Allen, Edgar and Evans, Vision 2, 2018) · MDPI, via PubMed Central https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6835437/
11. Optics of the Human Eye (Atchison and Smith, 2nd edition, 2023) · CRC Press https://www.routledge.com/Optics-of-the-Human-Eye/Atchison/p/book/9781003128601
12. Schematic eyes: Gullstrand, Gullstrand-Emsley and reduced eyes (lecture notes) · Al-Mustaqbal University https://www.uomus.edu.iq/img/lectures21/MUCLecture_2024_11210775.pdf

Factos verificados em 2026-10-12

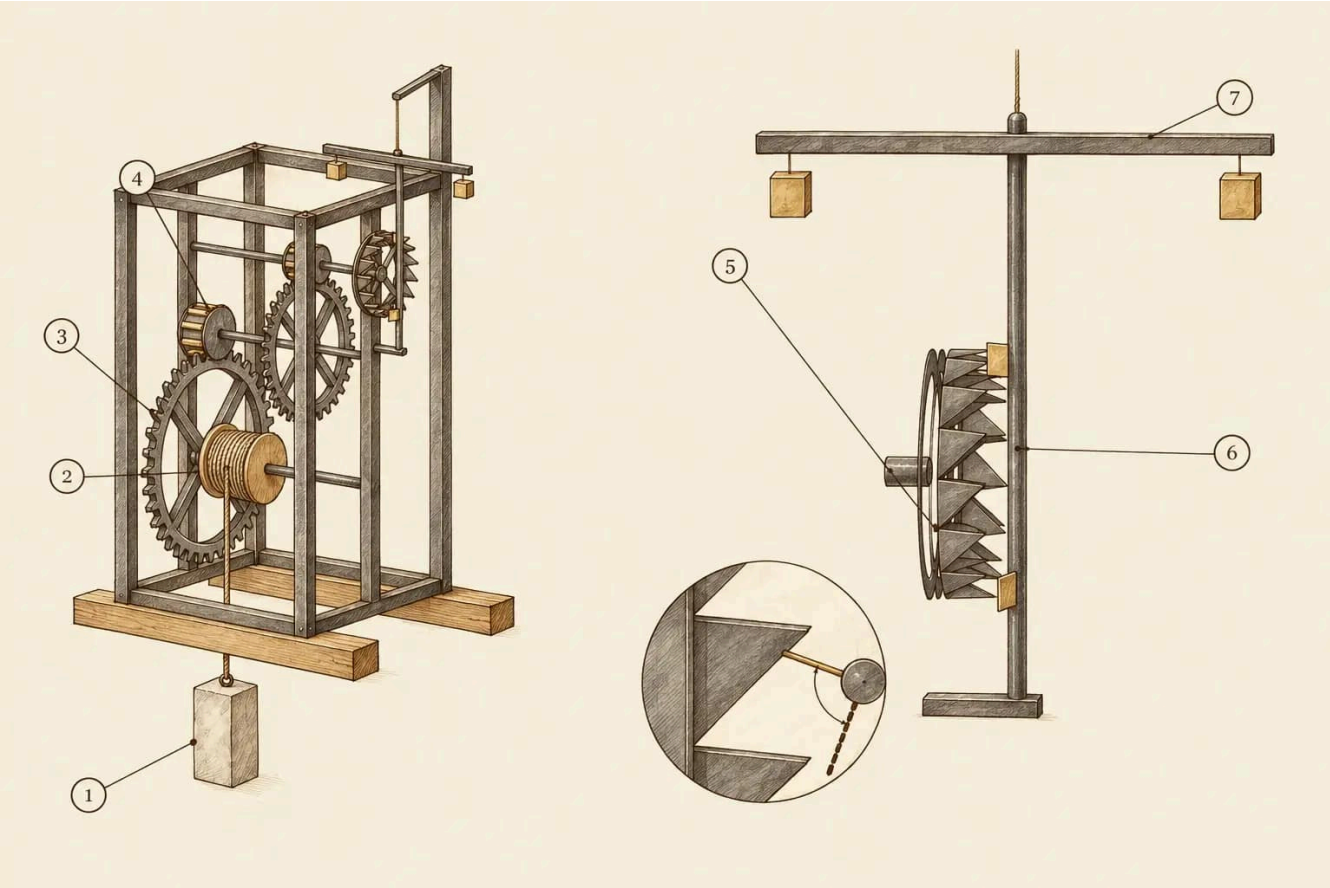
Relógio mecânico

O tempo cortado em batidas iguais

c. 1300 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Engrenagens (p. 153), Metalurgia do ferro (p. 136)

Conduz a: Navegação astronómica (p. 210)



1 Peso motor 2 Tambor e corda 3 Roda grande 4 Carreto de lanterna 5 Roda de coroa 6 Vara e paletas 7 Foliot com os seus pesos

Num relógio mecânico, um peso que desce faz girar um trem de engrenagens, e um escape só deixa esse trem avançar em passos pequenos e regulares. Os primeiros foram construídos na Europa no fim do século XIII: grandes máquinas de ferro nas torres das igrejas, que davam as horas num sino.

O que é

Um relógio mecânico divide o tempo em batidas iguais e conta-as com engrenagens. Os primeiros, construídos a partir do fim do século XIII, eram grandes armações de ferro forjado na torre de uma igreja ou de uma cidade. Movia-os um peso de pedra e regulava-os um escape de vara e foliot: uma barra oscilante que só deixava as rodas girar em passos pequenos e regulares. Muitos não tinham mostrador: davam as horas num sino e as pessoas sabiam as horas de ouvido.

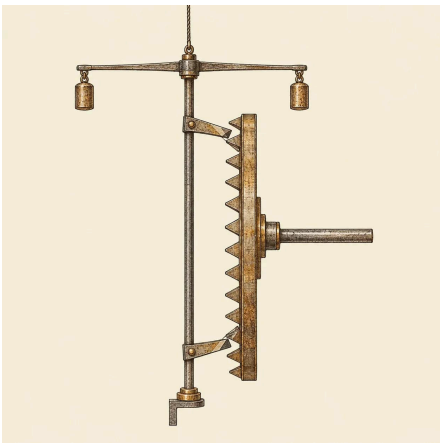
Na catedral de Salisbury, um relógio deste tipo ainda funciona na nave. Costuma ser identificado com um relógio aí mencionado em 1386, e por isso é muitas vezes chamado o relógio a funcionar mais antigo do mundo; essa

datação assenta em indícios indiretos, e outros relógios são apontados para o título. As suas rodas estão numa armação de ferro de quatro montantes unida por espigas com cunha em vez de parafusos. Um peso move o trem de movimento, que guarda as horas; outro move o trem de toque, que faz soar o sino.

Como funciona

O peso está pendurado numa corda enrolada num tambor de madeira. Ao descer devagar, faz girar o tambor e a roda grande fixada no mesmo eixo. A roda grande move um pequeno carreto no eixo seguinte, que leva outra roda, e assim até à roda de escape. Em cada passagem de roda para carreto, o eixo seguinte gira mais depressa.

Entregue a si próprio, o peso faria girar todo o trem e cairia em segundos. O escape impede-o. A roda de escape é uma roda de coroa, com dentes de serra que saem de uma das faces. À frente dela pende a vara, um eixo vertical com duas pequenas abas, as paletas: uma encontra os dentes no alto da roda e a outra em baixo, dispostas mais ou menos em ângulo reto. Um dente afasta a paleta de cima e faz rodar a vara; isso põe a paleta de baixo diante de um dente do outro lado da roda, que a empurra no sentido contrário. Assim a vara oscila para um lado e para o outro, e a roda avança meio dente a cada movimento num sentido e um dente inteiro a cada ida e volta.



O escape de vara visto de perfil, em que os dentes de toda a borda da roda de coroa se alinham numa só coluna: a roda empurra à vez as duas paletas, e o foliot com os seus pesos vai e vem no topo da vara.

O foliot é uma barra horizontal presa de través no topo da vara, com um pequeno peso pendurado junto a cada ponta. A sua inércia trava cada batida. Afastando os pesos, a batida fica mais lenta e o relógio atrasa; aproximando-os, adianta. O foliot não tem um período próprio, por isso a marcha muda também com a força do peso motor, o atrito e o estado do óleo, e um erro habitual andava pelo quarto de hora por dia. O encarregado acertava o relógio por um relógio de sol e subia os pesos todos os dias.

Como construir

Com ferramentas manuais, contraplacado e cavilhas de madeira dura pode fazer-se uma maqueta de escape de vara e foliot. Faz tiquetaque e mostra como o escape segura um peso que desce; sem mostrador, não dá as horas. O que se segue resume as etapas: para a forma dos dentes e a distância entre eixos, siga uma planta cotada publicada de uma maqueta de escape em madeira.

Um carreto de lanterna: varetas redondas entre dois discos, fáceis de fazer à mão, engrenam com os dentes da roda maior.

Fazer a armação. Dois montantes com cerca de 40 cm unidos por travessas e furados para três eixos horizontais, uns por cima dos outros, às distâncias da planta. Use cavilhas como eixos e forre os furos com pedaços curtos de tubo de latão para rodarem livremente. Aparafuse a armação a uma base pesada ou a um suporte de parede para não poder tombar.

Fazer o trem. No eixo de baixo ficam um tambor para o cordel e a roda grande; no do meio, um carreto de lanterna de cavilhas e uma segunda roda; no de cima, outro carreto de lanterna e a roda de coroa. Cada roda tem de engrenar com o seu carreto sem prender nem saltar, por isso corte os dentes segundo o perfil da planta e lime-os.

Fazer o escape. A roda de coroa precisa de um número ímpar de dentes, 15 é o habitual, a sair de uma face: corte-os na borda de um anel curto de contraplacado fino ou de madeira dura e cole o anel na face de um disco. Monte a vara, uma cavilha bem direita, na vertical à frente da roda, com duas paletas finas a cerca de 90 graus uma da outra, à altura do alto e do fundo da roda. Com um número ímpar de dentes, uma paleta encontra uma ponta enquanto a outra fica diante de um vão. Fixe de través no topo da vara o foliot, uma barra leve com cerca de 30 cm e dois pesos deslizantes.

Afinar sem o peso. Rode o trem à mão, com um dedo no tambor, e verifique que as paletas trabalham à vez: um dente de cima escapa e depois um dente de baixo encosta na outra paleta, sem dentes saltados nem bloqueios. Só dobre ou lime as paletas com o peso retirado. Depois enrole no tambor um cordel cuja carga admissível ultrapasse com folga o peso, ate a ponta ao tambor, pendure o peso indicado no plano, muitas vezes 1 a 2 kg num modelo pequeno de madeira. Para acertar a batida, retire ou apoie o peso, desloque um pouco os pesos do foliot, deixe-o pendurado de novo e conte as batidas durante um minuto; repita até a batida ficar regular.

> **Segurança.** Se uma paleta escapar, o trem dispara e o peso cai: retire ou apoie sempre o peso antes de mexer no escape, e faça-o descer dentro de uma guia fechada, um tubo ou uma caixa, que termine no chão. Mantenha mãos, pés e animais fora do seu percurso. Prenda a peça num torno e mantenha as mãos atrás da lâmina ao cortar os dentes; use óculos de proteção ao furar.

História e evolução

Relógios de água e de sol mediam o tempo havia milénios quando surgiu o relógio mecânico. O passo decisivo, um mecanismo que deixa descer um peso aos solavancos regulares, foi dado algures na Europa no fim do século XIII, e na primeira metade do século XIV há registo de grandes relógios públicos em cidades italianas. Os relógios aparecem então nos registos de catedrais e abadias, mas a mesma palavra latina, horologium, servia também para os relógios de água, pelo que não se pode dar nome ao primeiro relógio mecânico. No fim do século XIV funcionavam grandes relógios de ferro em muitas catedrais; o mecanismo do de Wells, de 1392, está hoje no Science Museum, em Londres, enquanto o mostrador ficou na catedral.

O trem de toque puxa o arame, o martelo bate no sino e a hora ouve-se em toda a cidade.

A grande mudança veio em 1656-1657, quando Christiaan Huygens, seguindo uma ideia de Galileu, regulou um relógio com um pêndulo. Um pêndulo oscila quase no mesmo tempo seja qual for a força motriz. O primeiro relógio de pêndulo de Huygens desviava-se menos de um minuto por dia, e os seguintes menos de dez segundos. Muitos relógios de torre foram transformados; os de Salisbury e de Wells perderam o foliot a favor de um pêndulo, e o de Salisbury recebeu uma vara e um foliot reconstituídos no restauro de 1956. Por volta de 1675, a mola espiral deu aos relógios de bolso um regulador com período próprio; o seu erro baixou para cerca de dez minutos por dia, longe de um relógio de pêndulo mas muito melhor do que antes.

Números-chave

Primeiros relógios mecânicos
Europa, fim do século XIII

Relógio mais antigo a funcionar (segundo se afirma)
Catedral de Salisbury, por volta de 1386; sem mostrador, dá as horas

Erro de um relógio de foliot
Na ordem de um quarto de hora por dia, conforme o fabrico e o cuidado

Relógio de pêndulo (Huygens)
1656; menos de um minuto por dia no início, depois menos de 10 segundos

Fontes

1. What to see: the world's oldest clock · Salisbury Cathedral https://www.salisburycathedral.org.uk/discover/what-to-see/
2. Wells Cathedral clock, 1392 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co1347/wells-cathedral-clock-1392
3. A walk through time: the revolution in timekeeping · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/pml/time-and-frequency-division/popular-links/walk-through-time/walk-through-time-revolution
4. Clocks in the Scientific Revolution · World History Encyclopedia https://www.worldhistory.org/article/2315/clocks-in-the-scientific-revolution/
5. Oldest clock · Guinness World Records https://guinnessworldrecords.com/world-records/oldest-clock
6. Model of verge escapement with foliot regulator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/ModelVergeEscapementWithFoliotRegulator.html
7. Salisbury Cathedral clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Salisbury_Cathedral_clock
8. Dynamics of the verge and foliot clock escapement (P. Hoyng and A. C. T. Nieuwenhuizen) · arXiv https://arxiv.org/abs/1604.06681
9. Turret clock, Cotehele (c. 1490) · National Trust Collections https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/347888
10. Cotehele clock · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Cotehele_clock
11. Before Big Ben (Jonathan Betts) · Building Conservation https://buildingconservation.com/articles/bigben/bigben.html

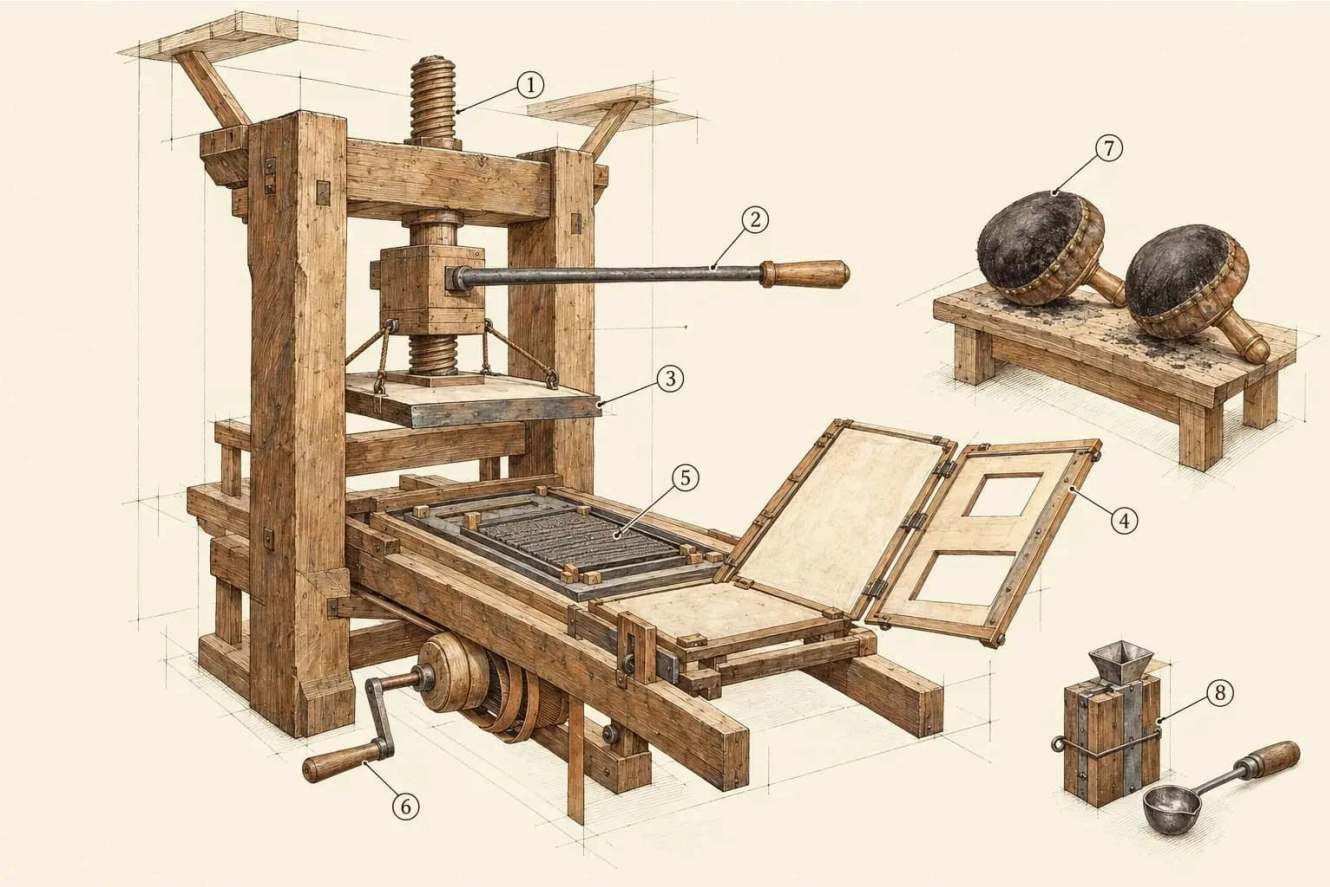
Factos verificados em 2026-10-12

Prensa de impressão

Tipos móveis, copiados aos milhares

c. 1440 · Idade Média · Ofícios e cidades

Requer: Papel (p. 169), Metalurgia do ferro (p. 136), Escrita (p. 85), Aço (p. 140)



1 Fuso 2 Barra 3 Platina 4 Tímpano e frasqueta 5 Forma sobre o leito do carro 6 Manivela 7 Balas de tinta 8 Molde manual para fundir tipos

A prensa de impressão comprime tipos de metal entintados contra papel húmido por meio de um fuso de madeira, de modo que uma página de texto pode ser copiada centenas de vezes num dia. Gutenberg combinou-a, por volta de 1440, com tipos móveis fundidos e uma tinta à base de óleo, e em cinquenta anos a imprensa já se tinha espalhado pela Europa.

O que é

Uma prensa de impressão deposita tinta no papel por pressão. Letras fundidas em metal são colocadas lado a lado para formar uma página, entintadas, cobertas com uma folha húmida e apertadas sob uma placa plana. Depois de levantada, a folha traz a imagem invertida dos tipos, que se lê no sentido certo.

A máquina em si era uma ideia antiga. As prensas de fuso espremiam uvas e azeitonas desde o tempo dos Romanos, e os papeleiros usavam-nas para prensar as folhas molhadas. A novidade foi juntar a prensa a tipos de metal reutilizáveis, que se podiam fundir depressa e em medidas exatas, a uma tinta que aderia ao metal e a papel barato.

Como funciona

O trabalho começa pelos tipos. Um abridor de punções lima a forma de uma letra, invertida, na ponta de uma barra de aço. Esse punção é batido num pequeno bloco de cobre e deixa nele uma letra em cavado: a matriz. A matriz vai para o fundo de um molde manual, o fundidor verte o metal derretido e, um instante depois, abre o molde e deixa cair um tipo, uma pequena haste com a letra em relevo numa das pontas.

As duas metades do molde deslizam para se ajustarem à largura de cada letra, enquanto a altura de todos os tipos se mantém igual.

O molde de Gutenberg podia ser ajustado para um «i» estreito ou um «M» largo sem alterar a altura do tipo. É isso que permite que milhares de tipos separados fiquem juntos e imprimam de forma regular. O metal, uma liga de chumbo, estanho e antimónio, funde a baixa temperatura, preenche os pormenores finos e gasta-se devagar.

As balas eram cheias de lã ou crina e batidas sobre os tipos.

O compositor tira os tipos da caixa, alinha-os linha a linha num componedor e vai montando as páginas. As páginas são depois apertadas com cunhas dentro de uma moldura de ferro, a rama. O resultado é a forma, que assenta num leito plano de pedra, no carro da prensa.

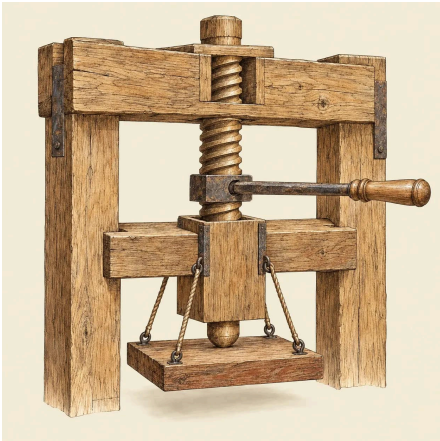
Um impressor bate os tipos com duas balas carregadas de uma tinta feita de fuligem e óleo de linhaça. O companheiro coloca uma folha húmida sobre o tímpano, uma moldura com dobradiças forrada de pergaminho, e dobra por cima a frasqueta para manter as margens limpas. Tímpano e frasqueta baixam sobre a forma. Ao rodar a manivela, o carro entra por baixo da platina. Um puxão na barra faz rodar o fuso uma fração de volta, a platina desce e a folha fica impressa.

Como construir

Uma prensa que funcione precisa de um carpinteiro, de um ferreiro e de alguém que saiba gravar letras.

Montar a estrutura. Junte dois pesados montantes de carvalho com um chapéu em cima e uma travessa mais abaixo, e escore o conjunto contra o chão e o teto. Se a estrutura ceder, a impressão fica desfocada.

Fazer o fuso e a platina. Um fuso de madeira dura e de grão fechado, como o buxo ou a pereira, talhado com uma rosca grossa, roda numa porca fixa no chapéu. Por baixo da porca, o fuso roda dentro de uma caixa quadrada de madeira que desliza numa tábua de guia sem poder rodar. Dessa caixa pende, por cordas, a platina plana, para descer a direito sem rodar.



A caixa desliza na tábua de guia sem rodar, e a platina, pendurada nas cordas, desce a direito.

Instalar o carro. Uma pedra lisa encaixada num cofre de madeira desliza sobre calhas por baixo da platina. Uma manivela, um eixo com punho e correias de couro, fá-la entrar e sair.

Fundir os tipos. É trabalho de fundição especializada. Abra punções de aço, bata-os no cobre e funda num molde de duas peças, com as

precauções indicadas abaixo. Sem fundição, letras talhadas em madeira dura de topo também imprimem, embora mais devagar e de forma menos regular.

Preparar a tinta. Moa negro de fumo em verniz de linhaça, isto é, óleo já engrossado pelo calor, até ficar espesso como mel. Compre o verniz feito ou peça-o a alguém experiente, porque aquecer óleo traz risco de incêndio.

Humedecer o papel. O papel ligeiramente húmido recebe muito melhor a tinta. Deixe-o uma noite empilhado entre folhas molhadas.

> **Segurança.** Funda tipos apenas numa oficina preparada para chumbo fundido, com cadinho de temperatura controlada, extração de fumos, viseira, avental e luvas de couro. O metal fundido salpica com violência se tocar em água ou numa ferramenta húmida, por isso aqueça antes as conchas e os moldes. O chumbo é venenoso: nunca coma enquanto trabalha, guarde escórias e pó em recipientes fechados e lave as mãos no fim. Os trapos embebidos em óleo de linhaça podem inflamar-se sozinhos ao secar: estenda-os ao ar livre ou guarde-os numa lata metálica fechada com água. Mantenha-se fora do curso da barra.

História e evolução

Os tipos móveis foram feitos pela primeira vez na China. Na década de 1040, Bi Sheng imprimiu com caracteres de barro cozido, um método registado por Shen Kuo. Mais tarde, os impressores coreanos fundiram tipos em bronze, e o livro mais antigo que se conserva impresso com tipos de metal, o *Jikji*, data de 1377. Imprimir caracteres chineses, na China como na Coreia, exige milhares de tipos diferentes, o que tornava o método caro.

Johannes Gutenberg, artesão de Mogúncia com formação no trabalho dos metais, dedicou-se à impressão em Estrasburgo de cerca de 1437 a 1444. Num processo judicial de 1439, testemunhas falam de uma prensa, de chumbo e de formas usadas numa empresa secreta, em que se costuma ver as primeiras experiências de impressão. De volta a Mogúncia, com dinheiro de Johann Fust, imprimiu a Bíblia de 42 linhas entre cerca de 1452 e 1455. Fizeram-se cerca de 180 exemplares, a maioria em papel e os restantes em velino; sobrevivem 48 ou 49.

O ofício espalhou-se depressa. Em 1480 já havia impressores a trabalhar em cerca de 110 lugares, e em 1500 em cerca de 270 cidades, que tinham produzido mais de vinte milhões de exemplares.

Por volta de 1800, a prensa Stanhope, construída inteiramente em ferro, duplicou o rendimento. Em 1814, a prensa de cilindro a vapor de Friedrich Koenig imprimiu *The Times* a 1100 folhas por hora.

Números-chave

Primeiras experiências de impressão de Gutenberg
Final da década de 1430, provavelmente em Estrasburgo

Metal dos tipos
Chumbo, estanho e antimónio

Cidades europeias com tipografia em 1500
Cerca de 270

Bíblia de 42 linhas
c. 1455, cerca de 180 exemplares, 48 ou 49 conservados

Rendimento de uma prensa de madeira por volta de 1600
Cerca de 1500 a 3600 impressões por dia de trabalho

Fontes

1. Printing press · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Printing_press
2. The Gutenberg Bible · Library of Congress https://www.loc.gov/exhibits/bibles/interactives/gutenberg/index.html
3. Johannes Gutenberg (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/johannes-gutenberg/
4. Shen Kuo · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Shen_Kuo
5. Joseph Moxon, Mechanick Exercises on the Whole Art of Printing (1683): the press · Transcription by R. Holme https://rholme.taths.org.uk/texpic/20/20_02a/20_02a.htm
6. Making Books: the Renaissance and Today, glossary of the Beaver Press · MIT OpenCourseWare https://ocw.mit.edu/courses/21h-343j-making-books-the-renaissance-and-today-spring-2016/pages/end-view

Factos verificados em 2026-10-11

IV

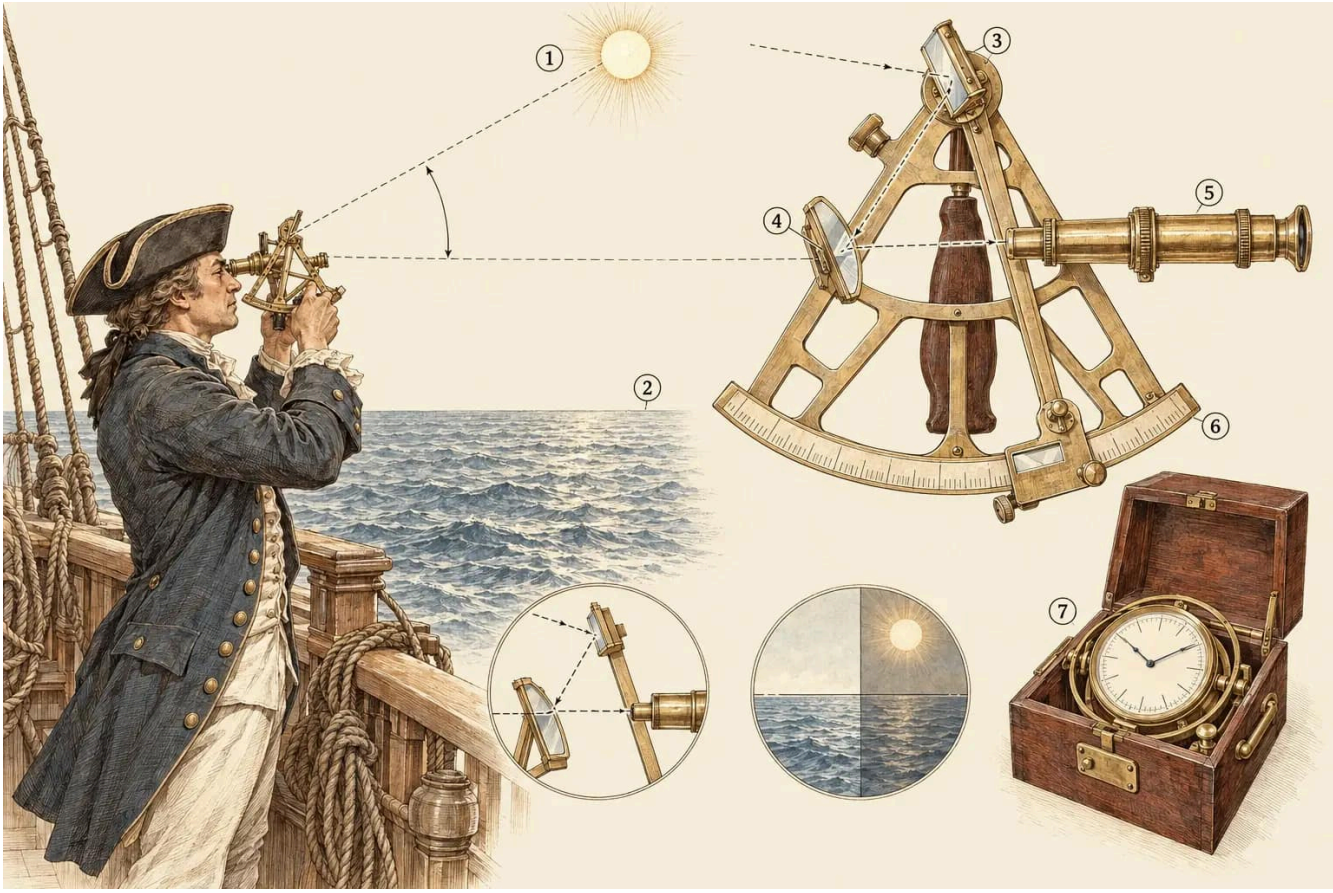
Ciência e indústria

Navegação astronómica

A posição do navio lida no céu

c. 1460 · Renascimento · Ciência e indústria

Requer: Bússola (p. 193), Vela (p. 89), Numeração posicional (p. 97), Medidas e padrões (p. 127), Relógio mecânico (p. 201)



1 Sol 2 Horizonte do mar 3 Espelho grande (índice) 4 Espelho pequeno, meio espelhado 5 Óculo de pontaria 6 Limbo graduado 7 Cronómetro marítimo

A navegação astronómica situa um navio a partir da altura do Sol, da Lua e das estrelas acima do horizonte. A latitude tira-se da estrela Polar, que os pilotos portugueses mediam com o quadrante por volta de 1460, ou do Sol do meio-dia; a longitude exige a hora de um meridiano de referência, que os cronómetros e as tábuas lunares forneceram a partir da década de 1760.

O que é

Longe da vista de terra, a agulha de marear e a velocidade estimada mantêm o rumo, mas os erros acumulam-se. O céu dá uma confirmação, porque a altura de uma estrela ou do Sol acima do horizonte depende do lugar onde se está.

A latitude, a distância a norte ou a sul do equador, veio primeiro: os pilotos do oceano Índico tiravam-na da Polar com os dedos ou com o kamal, e os europeus levaram quadrantes e astrolábios para o mar no século XV. A longitude depende da hora e continuou a ser um problema difícil até ao século XVIII. A estampa mostra um sextante e um cronómetro marítimo desse período mais tardio.

Como funciona

A estrela Polar está muito perto do ponto do céu por cima do eixo da Terra. No polo norte fica quase no zénite; no equador, quase no horizonte. Entre os dois, a sua altura equivale mais ou menos à latitude. No tempo de Colombo estava a 3,5° do polo e os pilotos corrigiam a leitura; hoje a diferença é inferior a um grau.

A sul do equador usa-se o Sol ao meio-dia verdadeiro, quando está mais alto. O seu ângulo em relação ao equador celeste, a declinação, varia ao longo do ano entre cerca de 23,4° N e 23,4° S e pode calcular-se com antecedência. Com o Sol do meio-dia a sul, a latitude é 90° menos a altura do Sol, mais a declinação, contando o sul como negativo. Com o Sol a norte, como sempre a sul dos trópicos, a latitude é a declinação menos (90° menos a altura).

No primeiro quadrante, um fio de prumo pende diante de uma escala enquanto se aponta a estrela ao longo de um bordo. O astrolábio náutico pende de uma argola; para o Sol, o piloto roda a medeclina até que um raio passe pelo furo de cima e caia no de baixo. Ambos oscilam num convés que balança, e eram comuns erros de vários graus.

O astrolábio náutico era fundido pesado e vazado para que o vento não o fizesse balançar.

O octante e o sextante medem a partir do horizonte do mar. A luz do Sol bate no espelho grande do braço móvel, reflete-se no espelho pequeno e entra no óculo. Metade do espelho pequeno é transparente, por isso vê-se o horizonte através dela, ao lado do Sol refletido. Com os vidros corados postos, o navegador desloca o braço até o bordo inferior do Sol tocar o horizonte e lê o limbo. Tábuas corrigem depois a altura do olho, a refração e o semidiâmetro do Sol, cerca de 16′. A dupla reflexão duplica o ângulo, e um arco de um sexto de círculo mede até 120°.

Para a longitude, a Terra roda 15° por hora. Se o Sol passa no meridiano do lugar quando um relógio acertado por Greenwich marca as 15h00, o navio está a cerca de 45° a oeste de Greenwich, antes da correção da equação do tempo: conforme a estação, o Sol adianta-se ou atrasa-se até 16 minutos. O difícil era um relógio que se mantivesse certo no mar. O outro método, a distância lunar, compara o ângulo medido entre a Lua e uma estrela brilhante com tábuas impressas para obter a hora de referência.

Entre duas observações, a estima feita com a agulha, a barquinha e o relógio é marcada na carta; cada ponto astronómico corrige-a.

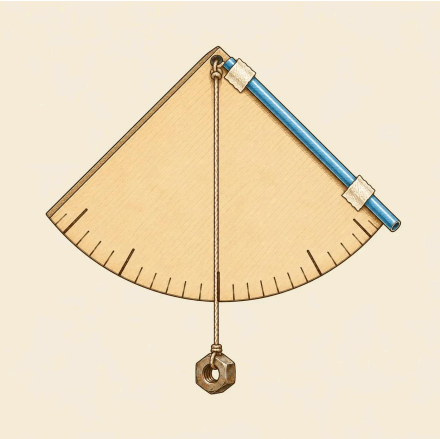
Como fazer

Um quadrante de cartão dá a latitude com um erro de um ou dois graus, ou seja, 100 a 200 km.

Fazer o quadrante. Recortar em cartão rígido um quarto de círculo com cerca de 15 cm de raio. Com um transferidor, graduar o arco de 0 num bordo direito até 90 no outro. Colar uma palhinha ao longo do bordo marcado 90. Pendurar no canto um fio com uma porca. O fio indica então o ângulo da palhinha acima da horizontal.

Medir a Polar. Numa noite limpa no hemisfério norte, prolongar cerca de cinco vezes a linha que une as duas estrelas da ponta da caçarola da Ursa Maior para encontrar a Polar. Apontá-la pela palhinha, deixar o fio parar e ler. A média de cinco leituras dá uma latitude aproximada.

Ou medir o Sol do meio-dia pela sombra. Nunca apontar ao Sol. Espetar um pau direito em chão plano e verificar com o fio de prumo que está vertical. Por volta do meio-dia, marcar a ponta da sombra de cinco em cinco minutos: a sombra mais curta indica o meio-dia verdadeiro, que raramente calha às 12h00 do relógio. A altura do



Aponta-se pela palhinha e lê-se onde o fio cruza a escala.

Sol é o ângulo cuja tangente é a altura do pau dividida por essa sombra; também se pode desenhar o triângulo à escala e medir o ângulo com o transferidor.

Corrigir conforme a data. Procurar a declinação do Sol do dia numas efemérides, positiva a norte. A norte dos trópicos, latitude = 90° − altura + declinação. A 11 de abril a declinação é de cerca de +8°. Se um pau de 100 cm projeta uma sombra mínima de 77 cm, a altura é de cerca de 52,4° e a latitude 90 − 52,4 + 8 = 45,6° N, perto dos 45,8° de Lyon. Depois, comparar com um mapa.

> **Segurança.** Nunca olhar para o Sol, nem à vista desarmada nem através de uma palhinha, um tubo, uns binóculos ou uma mira, nem por um instante; os óculos de sol não protegem e a lesão é permanente. À noite, sair acompanhado, levar uma lanterna e manter distância de arribas, cais e da beira da água.

História e evolução

Os navegadores do Pacífico viajavam sem instrumentos, guiando-se pelos pontos onde as estrelas nascem e se põem e avaliando a latitude pela altura do Cruzeiro do Sul. Em 1976, Mau Piailug guiou assim a canoa Hōkūleʻa do Havai ao Taiti.

Com o kamal dos pilotos do oceano Índico, um nó preso entre os dentes fixava a distância de uma tabuinha cujos bordos iam do horizonte à estrela. Ahmad ibn Majid, de Omã, registou este saber em 1490.

O kamal: cada nó correspondia à altura da Polar num porto conhecido.

Diogo Gomes conta que tomou a Polar com um quadrante numa viagem à Guiné por volta de 1460, embora as suas datas sejam incertas. Passado o equador, na década de 1470, os portugueses recorreram ao Sol do meio-dia, ao astrolábio e às tábuas de declinação de Abraão Zacuto, impressas em Leiria em 1496. Seguiram-se a balestilha e, por volta de 1594, o quadrante de Davis. John Hadley apresentou o seu octante à Royal Society em 1731. O relógio H4 de John Harrison foi experimentado no mar em 1761; o Nautical Almanac de Nevil Maskelyne, publicado em 1766 para o ano de 1767, trazia tábuas lunares. Os sinais horários regulares por rádio começaram em 1904, e o GPS ficou plenamente operacional em 1995.

Números-chave

Um grau de latitude
Cerca de 111 km (60 milhas náuticas)

Rotação da Terra
15° de longitude por hora, 1° a cada 4 minutos

Declinação do Sol
Entre cerca de 23,4° N e 23,4° S ao longo do ano

Polar medida com quadrante no mar
Diogo Gomes, por volta de 1460

Octante de Hadley
Apresentado à Royal Society a 13 de maio de 1731

Fontes

1. What is a mariner's astrolabe? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/space-astronomy/what-mariners-astrolabe
2. Quadrant · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/quadrant/
3. Mariner's astrolabe · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/?p=211
4. Back staff · The Mariners' Museum and Park https://exploration.marinersmuseum.org/object/back-staff/
5. Martin Behaim: his life and his globe (E. G. Ravenstein, 1908), pp. 15–17 · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0029/ocr
6. Martin Behaim: his life and his globe, Zacuto's Almanach · Universitätsbibliothek Freiburg https://dl.ub.uni-freiburg.de/diglit/ravenstein1908/0031/ocr
7. The navigator Ahmad ibn Majid · AramcoWorld https://archive.aramcoworld.com/issue/200504/the.navigator.ahmad.ibn.majid.htm
8. The Star Compass · Polynesian Voyaging Society https://worldwidevoyage.hokulea.com/education-at-sea/polynesian-navigation/the-star-compass/
9. Wayfinding revival · Science Learning Hub, University of Waikato https://www.sciencelearn.org.nz/resources/631-wayfinding-revival
10. John Hadley · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/DNB/Hadley.html
11. Octant / sextant · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/OctantSextantBis.html
12. Who was John Harrison? · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/discover/explore/longitude-found-john-harrison
13. John Harrison · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/john-harrison
14. Nevil Maskelyne and the lunar method · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/stories/topics/longitude-found-nevil-maskelyne-lunar-method
15. The Evolution of Time Measurement, Part 5: Radio Controlled Clocks (M. A. Lombardi, 2012) · NIST https://tf.nist.gov/general/pdf/2536.pdf
16. The System: Celebrating 20 Years of GPS · GPS World https://www.gpsworld.com/the-system-celebrating-20-years-of-gps/
17. Longitude and Local Noon · ESO, Sea and Space https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/seaspace/navigation/navastro/navastro-5.html
18. Declination of the Sun · Plymouth State University https://vortex.plymouth.edu/dept/tutorials/sun/sun4a.html
19. The American Practical Navigator (Pub. 9), chapter 14: Instruments for celestial navigation · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/05-%20Part%203-%20Celestial%20Navigation/Chapter%2014-%20Instruments%20For%20Celestial%20Navigation.pdf
20. The American Practical Navigator (Pub. 9), appendix B: Calculations and conversions (dip of the horizon) · National Geospatial-Intelligence Agency https://thenauticalalmanac.com/2019_Bowditch-_American_Practical_Navigator/Volume-_1/13-%20Appendices/Appendix%20B-%20Calculations%20and%20Conversions.pdf
21. Mate sextant, Kelvin & Hughes, 1967 (NAV1204) · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-43416
22. The calculation of astronomical refraction in marine navigation (G. G. Bennett, 1982) · Journal of Navigation https://doi.org/10.1017/S0373463300022037
23. General Solar Position Calculations · NOAA Global Monitoring Laboratory https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF

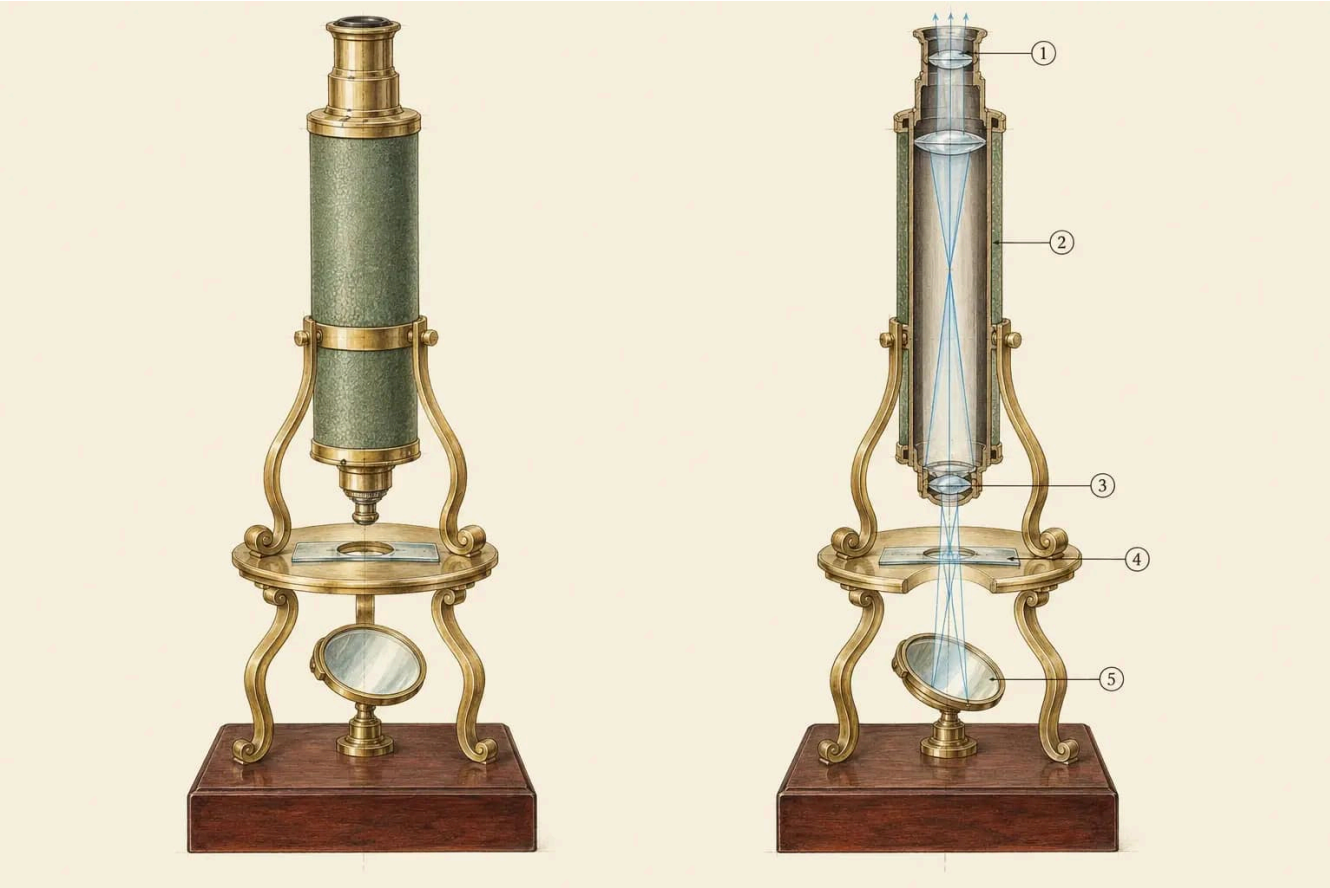
Factos verificados em 2026-10-14

Microscópio

Um mundo pequeno demais para o olho

c. 1590 · Renascimento · Ciência e indústria

Requer: Óculos (p. 197)
Conduz a: Higiene e antissepsia (p. 299)



1 Ocular 2 Tubo 3 Objetiva 4 Platina e lâmina 5 Espelho côncavo

Um microscópio usa uma ou mais lentes para mostrar o que é pequeno demais para o olho. Os instrumentos compostos, com duas lentes num tubo, surgiram nos Países Baixos por volta de 1600, e na década de 1670 as minúsculas lentes simples de Antoni van Leeuwenhoek mostraram pela primeira vez bactérias e seres unicelulares.

O que é

Um microscópio mostra pormenores pequenos demais para o olho nu, desde um décimo de milímetro até poucos milésimos. O mais simples, o microscópio simples, é apenas uma lente muito forte segura junto ao olho. O microscópio composto usa duas lentes ou grupos de lentes num tubo: a primeira forma uma imagem ampliada e a segunda volta a ampliar essa imagem.

O instrumento da prancha é um microscópio composto do tipo que o fabricante londrino Edward Culpeper criou por volta de 1725-1730. Três pernas curvas de latão sobre uma base de madeira sustentam a platina; outras três

sustentam a manga onde o tubo desliza para cima e para baixo para focar. Por baixo da platina, um espelho côncavo recolhe a luz do dia ou de uma vela e envia-a para cima, através da preparação.

Como funciona

A preparação, muitas vezes um corte fino ou uma gota de líquido numa lâmina de vidro, assenta sobre um furo da platina. O espelho ilumina-a por baixo. Logo acima da lâmina, a objetiva, pequena e muito curva, forma dentro do tubo uma imagem real, ampliada e invertida. A ocular, no topo, funciona como uma lupa sobre essa imagem. Na prancha, uma lente de campo colocada por baixo da lente do olho alarga a zona visível de uma só vez.

As duas ampliações multiplicam-se. Uma objetiva de dez vezes e uma ocular de dez vezes dão cem vezes no total. Subindo ou descendo o tubo, foca-se a preparação; nas ampliações fortes, a profundidade nítida é de poucos milésimos de milímetro.

Ampliar mais nem sempre deixa ver mais. As primeiras lentes desviavam cada cor de modo ligeiramente diferente e rodeavam a imagem de franjas coloridas. Joseph Jackson Lister resolveu boa parte do problema por volta de 1830 com objetivas que combinavam dois tipos de vidro. Mais tarde, no mesmo século, Ernst Abbe, que trabalhava com a casa Zeiss em Jena, mostrou que a natureza ondulatória da luz impõe ela própria um limite: um microscópio ótico convencional não separa dois pontos muito mais próximos do que cerca de 0,2 µm, aproximadamente metade do comprimento de onda da luz visível; o valor exato depende da cor da luz e da abertura da objetiva. Para ver mais pequeno são precisos microscópios eletrónicos ou métodos especiais de fluorescência.

O instrumento de Leeuwenhoek visto de lado: o parafuso comprido sobe e desce a ponta que segura a amostra, o curto aproxima-a ou afasta-a da lente.

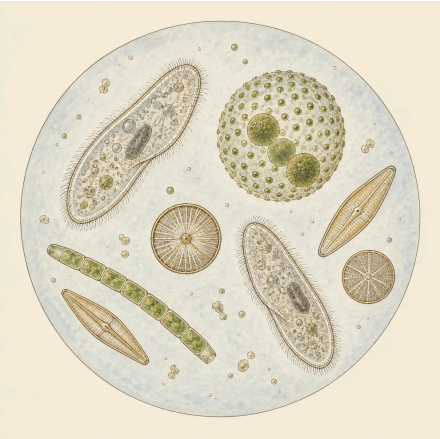
Como construir

Um microscópio de uma só lente ao estilo de Leeuwenhoek está ao alcance de um amador cuidadoso e pode ampliar cem vezes ou mais.

Fazer a lente. O mais fácil é uma esfera de vidro ou de safira com 2 a 3 mm, das que se vendem para ótica ou para acopladores de fibra. Uma esfera de vidro comum com 2 mm tem uma distância focal de cerca de 1,5 mm, medida a partir do centro, e amplia umas 150 vezes. A amostra tem de ficar a apenas meio milímetro da superfície do vidro. Leeuwenhoek também fazia lentes fundindo vidro; aquecer a ponta de uma vareta fina de vidro até se formar uma pérola redonda funciona, mas exige uma chama de gás e é melhor deixá-lo a quem aprendeu a trabalhar o vidro ao maçarico.

Montá-la. Furar em duas tiras finas de latão ou alumínio com cerca de 5 × 2,5 cm um orifício com cerca de metade do diâmetro da esfera, que serve de diafragma e tapa a borda desfocada da lente. Escarear cada orifício do lado de dentro para a esfera assentar, prender a lente entre as tiras e uni-las com rebites ou parafusos perto das bordas. Tirar todas as rebarbas e arredondar os cantos.

Juntar o porta-amostras. Fixar atrás da placa um pequeno bloco montado num parafuso comprido que atravessa um esquadro, de modo que ao rodá-lo o bloco suba ou desça. Prender ao bloco uma ponta, ou uma lamela de vidro com as bordas acabadas, que segure a amostra logo atrás da lente, e um segundo parafuso que atravesse o bloco e empurre a placa, para regular a distância. Use roscas finas: a amostra tem de chegar a menos de meio milímetro da lente e mover-se ao centésimo de milímetro.



Uma gota de água de charco vista a cerca de cem vezes: paramécias, uma colónia de Volvox, diatomáceas e uma alga verde.

Usá-lo. Aproximar a lente do olho sem lhe tocar, com a amostra do outro lado, e olhar para uma luz forte e difusa, uma parede branca ou um céu encoberto. Uma gota de água de charco numa lamela mostra protozoários e algas em movimento.

> **Segurança.** Nunca aponte um microscópio nem o seu espelho para o Sol: a luz solar concentrada pode danificar o olho de forma permanente num instante. O vidro quente parece frio: deixe arrefecer pérolas e varetas numa superfície resistente ao calor e mantenha as chamas longe de tudo o que arda. Use óculos de proteção ao furar metal. A água de charco não é limpa: lave as mãos depois de lhe mexer.

História e evolução

Fabricantes de óculos dos Países Baixos foram os primeiros a pôr duas lentes num tubo, entre 1590 e 1620, aproximadamente. Relatos posteriores atribuíram o invento a Zacharias Janssen, de Middelburg, mas apoiam-se sobretudo em declarações do filho feitas décadas depois; Cornelis Drebbel e outros construíram instrumentos semelhantes. Em 1624 Galileu enviou um dos seus «occhialini» a Federico Cesi, e no ano seguinte Johannes Faber, membro da Accademia dei Lincei fundada por Cesi, propôs chamar-lhe microscópio.

A Micrographia de Robert Hooke, publicada pela Royal Society em 1665, tornou famoso o microscópio composto. As suas trinta e oito gravuras mostravam uma pulga, um piolho e uma fatia fina de cortiça, cujos compartimentos vazios Hooke chamou células. Em Delft, o comerciante de tecidos Antoni van Leeuwenhoek viu pormenores mais finos com uma só lente. Construiu várias centenas de pequenos microscópios, alguns com mais de 250 vezes de ampliação, e a partir de 1673 enviou à Royal Society cartas em que descrevia glóbulos do sangue, espermatozoides e multidões de «animálculos». Numa carta de 1676 sobre água onde tinha posto pimenta de molho, descreveu organismos que hoje sabemos serem bactérias, as primeiras alguma vez vistas, e em 1683 encontrou outros semelhantes no tártaro dos seus dentes.

O microscópio de Hooke, da década de 1660: um globo cheio de água concentra a luz de uma candeia de azeite sobre a amostra.

O microscópio composto só ultrapassou de vez a lente simples no século XIX, quando as objetivas acromáticas de Lister e a teoria de Abbe fizeram dele um instrumento de laboratório preciso. Os microscópios eletrónicos, construídos a partir da década de 1930, veem muito abaixo do limite da luz, e desde os anos 90 alguns métodos de fluorescência permitem aos microscópios óticos ultrapassá-lo.

Números-chave

Primeiros microscópios compostos
Países Baixos, por volta de 1590-1620; o inventor é discutido

Melhores lentes de Leeuwenhoek
De cerca de 70 a mais de 250 vezes, com resolução próxima de 1 µm

Limite do microscópio ótico convencional
Cerca de 0,2 µm, metade do comprimento de onda da luz visível

O nome
Proposto em 1625 por Johannes Faber, da Accademia dei Lincei

Micrographia de Hooke
1665, 38 gravuras; primeiro uso de «célula» em biologia

Fontes

1. Museum of Microscopy: The Leeuwenhoek Microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/leeuwenhoek.html
2. Culpeper microscope with boxfoot made by George Adams in 1738 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co119233
3. Johannes Faber (biography) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/biography/JohannesFaber.html
4. Galileo and the microscope: timeline (estoria04) · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/microscopio/dswmedia/storia/pdf/estoria04.pdf
5. Fleas, mould and plant cells: under a 17th-century microscope · British Library https://www.bl.uk/stories/blogs/posts/fleas-mould-and-plant-cells-under-a-17th-century-microscope
6. History of the achromatic and aplanatic microscope · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
7. De microscoop van Antoni van Leeuwenhoek · Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Microbiologie https://www.knvm.org/outreach/mijlpalen-in-de-microbiologie/de-microscoop-van-antoni-van-leeuwenhoek
8. Robert Hooke (Museum of Microscopy) · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/hooke.html
9. Hooke's Microscope · Lens on Leeuwenhoek https://lensonleeuwenhoek.net/node/7761
10. Museum of Microscopy: Culpeper microscope · Molecular Expressions, Florida State University https://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum/culpeper.html
11. Culpeper tripod microscope · The Golub Collection, University of California, Berkeley https://golubcollection.berkeley.edu/thumb181
12. Descriptive Catalogue of the Collection of Microscopes in charge of the Utrecht University Museum (P. H. van Cittert, 1934) · Utrecht University Library https://objects.library.uu.nl/download/1874-307223/fulltext
13. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
14. Resolution · Nikon MicroscopyU https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/resolution

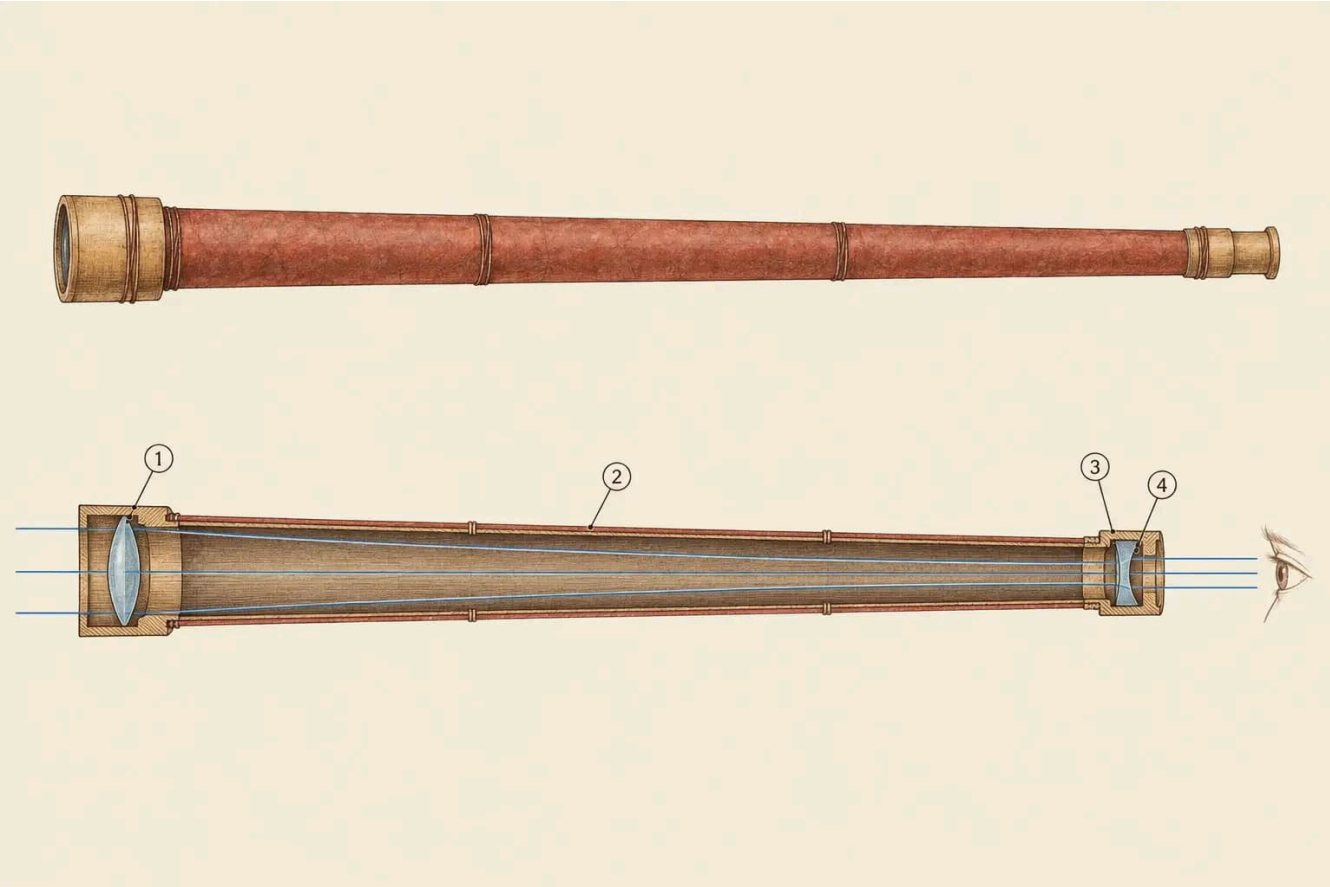
Factos verificados em 2026-10-12

Telescópio

Aproximar o distante

1608 · Renascimento · Ciência e indústria

Requer: Óculos (p. 197)



1 Objetiva convergente 2 Tubo principal 3 Encaixe da ocular 4 Ocular divergente

Um telescópio recolhe a luz de um objeto distante com uma lente ou um espelho e amplia a imagem que forma. Fabricantes de óculos dos Países Baixos fizeram os primeiros em 1608, e os instrumentos aperfeiçoados de Galileu mostraram montanhas na Lua no fim de 1609 e quatro luas a girar em torno de Júpiter em janeiro de 1610.

O que é

Um telescópio faz as coisas distantes parecerem mais próximas. O seu elemento principal, a objetiva, recolhe muito mais luz do que a pupila e forma uma imagem do objeto distante. Num refrator, a objetiva é uma lente na frente do tubo; num refletor, é um espelho curvo ao fundo; uma ocular mais pequena amplia depois essa imagem para o olho.

O instrumento da prancha é um dos dois telescópios de Galileu Galilei que chegaram até nós, guardado no Museo Galileo, em Florença. O tubo principal é feito de duas metades de madeira presas com fio de cobre e forradas a papel. Um encaixe curto na frente segura a objetiva, uma lente convexa com 51 mm de diâmetro e 1330 mm de

distância focal; outro, atrás, segura a ocular, uma pequena lente côncava. O instrumento amplia 14 vezes e mostra apenas um campo de um quarto de grau, cerca de metade do diâmetro da Lua cheia.

Como funciona

A luz de uma estrela ou de uma torre distante chega como um feixe quase paralelo. A objetiva convexa desvia esse feixe para o fazer convergir para um ponto, o foco, que no telescópio de Galileu fica 1330 mm atrás da lente. Sozinha, a objetiva formaria ali uma imagem pequena e invertida.

No esquema galileano, a ocular côncava interceta a luz convergente antes de esta chegar ao foco. Abre os raios o suficiente para os tornar de novo paralelos, mas agora viajam com ângulos maiores do que à chegada, e o olho vê o objeto maior e direito. A ampliação é a distância focal da objetiva a dividir pela da ocular, sem contar o sinal menos desta: 1330 mm a dividir por 94 mm dá cerca de 14.

Em 1611, Johannes Kepler propôs uma ocular convexa. O telescópio kepleriano dá uma imagem invertida, o que não incomoda um astrónomo, e um campo muito mais largo, e tornou-se o refrator astronómico habitual. Uma lente também desvia cada cor de modo ligeiramente diferente e rodeia os objetos brilhantes de franjas coloridas. Isaac Newton evitou o problema recolhendo a luz com um espelho côncavo, que reflete todas as cores da mesma maneira.

O refletor de Newton substituiu a lente da objetiva por um espelho metálico curvo no fundo de um tubo curto; um pequeno espelho plano desvia a luz para o lado.

Como construir

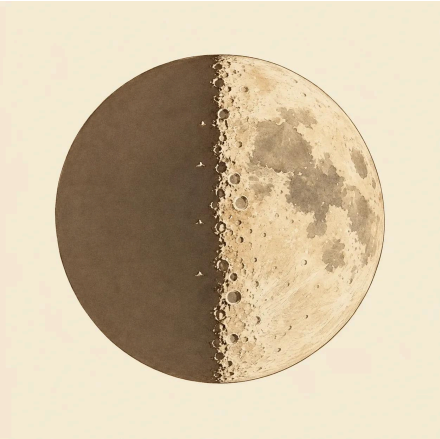
Um telescópio galileano como o de Galileu precisa de duas lentes e de um tubo com cerca de um metro.

Escolher as lentes. Para a objetiva, uma lente convergente de cerca de +1 dioptria (1000 mm de distância focal) e 40 a 50 mm de diâmetro; uma lente simples serve, e um dupleto acromático de um fornecedor de ótica dá uma imagem mais nítida. Para a ocular, uma lente divergente de cerca de −10 dioptrias (−100 mm de distância focal) e 20 a 25 mm de diâmetro. Este par amplia 1000 ÷ 100 = 10 vezes.

Fazer o tubo. As lentes devem ficar a cerca de 900 mm uma da outra: a distância focal da objetiva menos a da ocular, tomada sem o sinal menos. Use dois tubos de cartão ou de plástico que deslizem um dentro do outro, para acertar o comprimento em alguns centímetros. Pinte ou forre o interior de preto mate para evitar reflexos.

Montar as lentes. Segure a objetiva na extremidade da frente entre dois anéis de cartão ou madeira, bem perpendicular ao tubo. Coloque a ocular numa tampa curta na extremidade de trás, com o lado côncavo virado para o olho.

Focar e observar. Apoie o tubo em algo firme, um tripé fotográfico ou uma vedação, e faça deslizar os tubos até uma chaminé distante ficar nítida. À noite mostra as crateras da Lua e, numa noite calma, as quatro maiores luas de Júpiter.



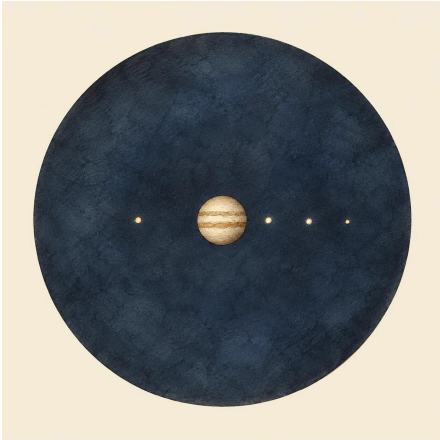
No quarto crescente, picos iluminados para lá da linha de sombra mostraram a Galileu que a Lua tinha montanhas.

> **Segurança.** Nunca aponte um telescópio nem qualquer lente para o Sol, nem por um instante nem ao pôr do sol, e nunca o deixe onde uma criança o possa fazer: a luz solar concentrada pode danificar o olho de imediato e para sempre, e pode incendiar o tubo. Para olhar o Sol através de um telescópio é preciso um filtro feito para esse fim, que cubra toda a abertura da frente, bem preso, verificado sempre quanto a riscos e furos e usado segundo as instruções do fabricante. Os óculos de eclipse e os filtros que se enroscam na ocular não protegem atrás de um telescópio.

História e evolução

A 2 de outubro de 1608, Hans Lipperhey, fabricante de óculos de Middelburg, pediu aos Estados Gerais, na Haia, uma patente para um instrumento que deixava ver as coisas distantes como se estivessem perto. Jacob Metius, de Alkmaar, apresentou um pedido semelhante algumas semanas depois, outros reivindicaram também a ideia e a patente foi recusada. Não sobrevive nenhum telescópio desses primeiros fabricantes; o de Lipperhey ampliava provavelmente umas três vezes.

A notícia do «óculo holandês» espalhou-se depressa. Em Inglaterra, Thomas Harriot já usava um instrumento de seis vezes no verão de 1609, e em Pádua Galileu, que talhava as suas próprias lentes, construiu um óculo de três vezes no verão de 1609 e apresentou um de oito ao Senado de Veneza em agosto. No outono chegava a umas vinte vezes; as fontes divergem sobre se estudou primeiro a Lua com esse instrumento ou com um mais fraco. O seu segundo telescópio conservado amplia 21 vezes. Em março de 1610, o seu pequeno livro Sidereus Nuncius descreveu montanhas na Lua, inúmeras estrelas na Via Láctea e quatro luas em órbita de Júpiter. O nome telescópio foi proposto em 1611 pelo príncipe Federico Cesi, fundador da Accademia dei Lincei.



Júpiter e as suas quatro grandes luas ficam quase numa linha; em janeiro de 1610, Galileu viu-as mudar de lugar de uma noite para a outra.

Os astrónomos construíram depois refratores cada vez mais compridos para reduzir a desfocagem das cores. Chester Moore Hall fez por volta de 1733 objetivas acromáticas de dois tipos de vidro, que só se generalizaram quando John Dollond as começou a produzir no fim da década de 1750. O refletor de Newton, concebido em 1668 e apresentado numa segunda versão à Royal Society na passagem de 1671 para 1672, serviu de modelo aos telescópios de espelho que William Herschel construía com as próprias mãos; com um deles descobriu o planeta Úrano em 1781.

Números-chave

Primeiro documento escrito
Pedido de patente de Hans Lipperhey, Haia, 2 de outubro de 1608

O instrumento de Lipperhey
Provavelmente cerca de 3 vezes

O telescópio de Galileu em Florença
Objetiva de 51 mm, distância focal de 1330 mm, 14 vezes

Sidereus Nuncius
Publicado em Veneza em março de 1610

Telescópio de Newton
Concebido em 1668; segunda versão mostrada à Royal Society em 1671-1672

Fontes

1. Galileo's telescope (inv. 2427) · Museo Galileo https://catalogue.museogalileo.it/object/GalileosTelescope.html
2. Instruments: Galileo's telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/pencil/eng/html/Tools/01%20Cannocchiale.htm
3. Scientist of the Day: Hans Lipperhey · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/hans-lipperhey/
4. Galileo's telescope: reflecting telescopes · Museo Galileo (IMSS) https://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/storia/estoria6_st.html
5. History of the achromatic and aplanatic microscope (Hall and Dollond) · Antique Microscopes (Brian Stevenson) https://www.microscope-antiques.com/hxachromatic.html
6. Telescope · The Galileo Project, Rice University https://galileo.library.rice.edu/sci/instruments/telescope.html
7. 7-foot Newtonian (reflector) telescope · Royal Museums Greenwich https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-11122
8. Galileo's telescope (inv. 2427): measurements of the lenses · Museo Galileo (IMSS) https://imss.fi.it/news/cielimedicei/01/estrumento2.html
9. Galileo's knowledge of optics and the functioning of the telescope, revised (Y. Zik and G. Hon) · arXiv https://arxiv.org/abs/1307.4963
10. Learning from Galileo's errors (E. Bernieri) · arXiv https://arxiv.org/abs/1206.4244
11. Telescopes of Galileo (V. Greco, G. Molesini and F. Quercioli), Applied Optics 32, 6219–6226 · Optica Publishing Group https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-32-31-6219
12. University Physics Volume 3, 2.8 Microscopes and Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/2-8-microscopes-and-telescopes
13. University Physics Volume 3, 4.5 Circular Apertures and Resolution · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/university-physics-volume-3/pages/4-5-circular-apertures-and-resolution
14. Astronomy 2e, 6.1 Telescopes · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/astronomy-2e/pages/6-1-telescopes

Factos verificados em 2026-10-12

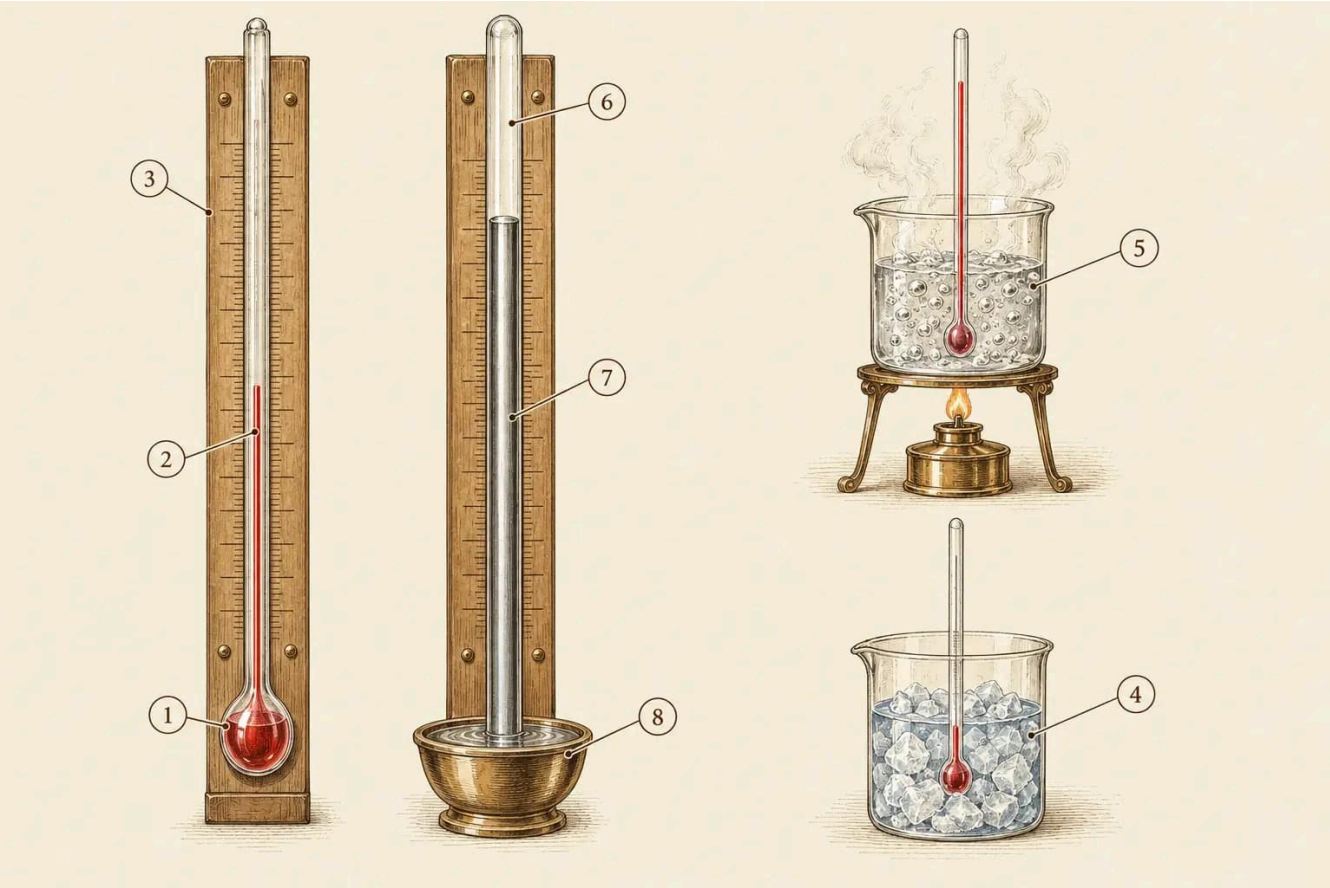
Termómetro e barómetro

Temperatura e pressão lidas no vidro

c. 1654 · Renascimento · Ciência e indústria

Requer: Vidro (p. 132), Medidas e padrões (p. 127), Numeração posicional (p. 97)

Conduz a: Refrigeração (p. 282)



1 Reservatório do líquido 2 Haste de vidro fina 3 Escala 4 Gelo a fundir, ponto fixo inferior (0 °C)
5 Água a ferver, ponto fixo superior (100 °C a 1013,25 hPa) 6 Espaço vazio no topo fechado do tubo
7 Coluna de mercúrio, cerca de 760 mm 8 Tina aberta

Um termómetro mostra a temperatura como o comprimento de um fio de líquido num tubo de vidro fino, lido numa escala fixada pelo gelo a fundir e pela água a ferver. O seu companheiro, o barómetro, pesa o ar pela altura da coluna de líquido que a atmosfera consegue sustentar: cerca de 760 mm de mercúrio ao nível do mar.

O que é

Um termómetro transforma a temperatura num comprimento que se pode ler. Um reservatório de vidro cheio de líquido continua num tubo de canal muito estreito. Quando o líquido aquece, dilata-se, e o seu fio sobe ao longo de uma escala.

O barómetro saiu das mesmas oficinas italianas e pesa o ar por cima de nós pela altura de uma coluna de líquido. Com termómetros construídos de igual modo, observadores de cidades diferentes puderam comparar as suas

leituras, como fez a primeira rede meteorológica a partir de 1654.

Como funciona

Os líquidos crescem um pouco quando aquecem: o etanol cerca de 0,11 % do seu volume por grau, o mercúrio cerca de 0,018 %, o vidro muito menos. O canal torna esse ganho visível, porque todo o volume a mais do reservatório tem de caber nele. Um reservatório com um quinto de centímetro cúbico de álcool ganha cerca de 0,2 mm^3 por grau; num canal com 0,2 mm de diâmetro, isso dá um passo de cerca de 7 mm.

Uma escala precisa de pontos que qualquer pessoa possa reproduzir. O gelo puro funde sempre à mesma temperatura, e a água pura ferve sempre à mesma temperatura enquanto a pressão do ar for a mesma. A escala Celsius chama-lhes 0 e 100 e põe cem passos iguais entre eles. Na montanha a água ferve a uma temperatura mais baixa, mais ou menos um grau a menos por cada 300 m de altitude. Calibrar um instrumento é compará-lo com esses pontos ou com uma referência fiável e anotar a diferença; sem isso, dois termómetros podem divergir vários graus. Também conta na cozinha: a agência britânica de segurança alimentar pede 70 °C mantidos durante dois minutos no centro dos alimentos cozinhados.

A água sozinha contrai-se ao aquecer entre 0 e 4 °C e congela a 0 °C. Os primeiros termómetros selados levavam álcool e, a partir do século XVIII, os instrumentos de precisão sobretudo mercúrio, que fica líquido num intervalo largo e não molha o vidro.

O barómetro de Torricelli era um tubo de vidro com cerca de um metro, fechado numa ponta, cheio de mercúrio e virado ao contrário numa tina de mercúrio. A coluna descia até ficarem cerca de 760 mm acima da tina, com um espaço quase vazio por cima. O seu peso equilibra o empurrão do ar sobre a superfície livre. O mercúrio é 13,6 vezes mais denso do que a água, por isso um barómetro de água precisa de mais de 10 m de tubo, a mesma altura que limita uma bomba aspirante.

Perto do nível do mar, a coluna desce cerca de um milímetro por cada 11 m de subida, de modo que um barómetro também mede a altitude. Um barómetro a descer anuncia muitas vezes vento e chuva; um a subir, bom tempo. Os barómetros aneroides trocam o líquido por uma cápsula metálica selada que se deforma.

Como construir

O termómetro de líquido é um instrumento para aprender: compare-o com uma referência para saber o seu erro e nunca o use para alimentos nem para verificar uma febre. O barómetro de frasco indica apenas se a pressão sobe ou desce.

O termómetro de líquido. Arranje uma garrafa de vidro pequena, de cerca de 100 ml, uma palhinha transparente com pelo menos 25 cm e plasticina. Misture em volumes iguais água e álcool isopropílico a 70 %, tingidos com corante alimentar: a mistura dilata-se mais do que a água e evita o seu comportamento estranho perto do congelamento. Encha a garrafa até à borda, enfie bem a palhinha no líquido e sele o gargalo com plasticina, sem bolhas de ar. À temperatura ambiente, o líquido deve ficar cerca de 8 cm acima da plasticina; junte ou tire um pouco pela palhinha com um conta-gotas. Quanto maior a garrafa e mais fina a palhinha, maior o passo por grau. Cole uma tira de papel por trás da palhinha.

O ponto fixo inferior: a garrafa fica no gelo a fundir até o fio parar.

Fixar os pontos. Ponha a garrafa numa taça de gelo picado com um pouco de água, funda o bastante para a cobrir até ao gargalo. Mexa, espere que o fio pare, o que pode levar um quarto de hora, e marque 0; o líquido tem de continuar visível acima da plasticina. Deixe-a voltar à temperatura ambiente e ponha-a depois ao lado de um termómetro de cozinha digital numa taça com água morna da torneira a cerca de 40 °C, mexa, espere que as duas leituras estabilizem e marque o valor da referência; o fio não pode chegar ao topo. Se um dos dois testes falhar, mude a quantidade de líquido ou a garrafa e repita os dois pontos. Divida o intervalo em passos iguais e compare com a referência à temperatura ambiente para saber o seu erro. Nunca aperte a garrafa.

Um barómetro de frasco: a membrana afunda quando a pressão sobe, e a ponta da palhinha levanta-se.

O barómetro de frasco. Corte o pescoço de um balão, estique-o bem sobre um frasco de vidro de boca larga e ate-o com fio para que o ar não passe. Cole uma ponta de uma palhinha comprida ao centro da membrana e deixe a outra sair para além da borda, diante de um cartão. Quando a pressão exterior sobe, a membrana afunda e a ponta levanta-se. O ar fechado também se dilata com o calor: um grau mexe o ponteiro mais ou menos tanto como 3,5 hPa de pressão. Deixe o frasco longe do sol, numa divisão cuja temperatura varie pouco, e compare os seus movimentos com a tendência da pressão dada pelo serviço meteorológico.

A leitura. Mantenha o olho à altura do topo do fio.

> **Segurança.** Nunca construa um instrumento com mercúrio: o seu vapor é tóxico. Se um termómetro de mercúrio antigo se partir, faça sair pessoas e animais e mantenha-os fora, abra as janelas para o exterior e feche as portas para o resto da casa. Não use aspirador nem vassoura. Num chão duro, com luvas, junte as gotinhas com um cartão rígido, passe-as para papel de cozinha húmido, apanhe as mais finas com fita adesiva e feche tudo num saco etiquetado. Num tapete ou estofo, recorte ou ponha de lado a parte contaminada e peça conselho ao serviço local de saúde ou de ambiente. Terminada a limpeza, areje a divisão durante pelo menos 24 horas e entregue os resíduos num ponto de recolha de resíduos perigosos, conforme indicarem as autoridades locais. O álcool isopropílico é inflamável e tóxico: mantenha-o longe de chamas e de crianças. Use água quente da torneira, nunca a ferver, e nunca passe o vidro diretamente do gelo para a água quente.

História e evolução

Fílon de Bizâncio e Heron de Alexandria sabiam que o ar aquecido incha e empurra a água ao longo de um tubo. Benedetto Castelli lembrava-se de ver Galileu mostrar um termoscópio assim por volta de 1600, e em 1612 o médico Santorio, em Veneza, tinha-lhe acrescentado uma escala para acompanhar as febres. Por ser aberto, reagia também à pressão do ar.

Torricelli descreveu o barómetro de mercúrio numa carta de junho de 1644. Em 1648, Florin Périer, cunhado de Pascal, levou um ao cimo do Puy de Dôme, onde a coluna ficou cerca de 8,5 cm mais baixa do que em Clermont. Em Florença, os artesãos do grão-duque Fernando II fecharam álcool em vidro selado e, em 1654, o grão-duque enviou termómetros iguais para a primeira rede meteorológica.

O termoscópio de Galileu: quando o ar do balão arrefece, a água sobe no gargalo.

Daniel Gabriel Fahrenheit fez termómetros de mercúrio em Amesterdão a partir da década de 1710 e publicou o seu método em 1724. Anders Celsius propôs a sua escala em 1742, com 0 na ebulição e 100 no congelamento; foi invertida pouco depois da sua morte, em 1744. Em 1848, William Thomson, mais tarde lorde Kelvin, propôs uma escala absoluta, cujo zero está hoje fixado em −273,15 °C.

Em 1868, Carl Wunderlich, com dados de cerca de 25 000 doentes, situou a média normal em cerca de 37 °C e o início da febre perto dos 38 °C. Robert FitzRoy lançou os avisos britânicos de tempestade em 1861 e publicou a primeira previsão pública no Times em agosto desse ano. Os sensores digitais e os termómetros com outros líquidos substituíram em grande parte os de mercúrio, hoje restringidos em muitos países.

Números-chave

Pontos fixos (Celsius)
0 °C para o gelo a fundir, 100 °C para a água que ferve a 1013,25 hPa

Dilatação por grau
Etanol cerca de 0,11 % do volume, mercúrio cerca de 0,018 %

Temperatura do corpo (Wunderlich, 1868)
Cerca de 37 °C em média; 38 °C «provavelmente febril»; dados de cerca de 25 000 doentes

Pressão do ar ao nível do mar
Cerca de 760 mm de mercúrio, ou cerca de 10,3 m de água

Primeira rede meteorológica
1654, criada por Fernando II da Toscana com termómetros de álcool selados

Fontes

1. Letter by Castelli on the invention of the thermoscope · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/LetterByCastelliOnInventionThermoscope.html
2. Medici meteorological network · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/multimedia/MediciMeteorologicalNetworkBis.html
3. Fifty-degree thermometer · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/FiftydegreeThermometer.html
4. Thermometers of the Accademia del Cimento · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/section/ThermometersAccademiaCimentoArtScienceGlassware.html
5. Torricellian experiment · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/indepth/TorricellianExperiment.html
6. This Month in Physics History: Torricelli demonstrates the existence of a vacuum · APS News, American Physical Society https://www.aps.org/apsnews/2012/10/torricelli-demonstrates-existence-vacuum
7. Blaise Pascal (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/blaise-pascal/
8. On September 19, 1648, Pascal conducted an experiment that proved the existence of atmospheric pressure · Scientific Russia https://en.scientificrussia.ru/articles/under-atmospheric-pressure
9. Fahrenheit, Daniel Gabriel (ADB and NDB entries) · Deutsche Biographie, Bavarian Academy of Sciences https://www.deutsche-biographie.de/sfz14129.html
10. Daniel Gabriel Fahrenheit · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/biography/DanielGabrielFahrenheit.html
11. The Legacy of Anders Celsius · JSTOR Daily https://daily.jstor.org/the-legacy-of-anders-celsius/
12. Kelvin: History · National Institute of Standards and Technology https://www.nist.gov/si-redefinition/kelvin/kelvin-history
13. Wunderlich, Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten (1868) · HistoryofMedicine.com (Jeremy Norman) https://archive.historyofmedicine.com/id/3542
14. Thermometry and the role of fever in medicine · Healio https://www.healio.com/news/hematology-oncology/20120325/thermometry-and-the-role-of-fever-in-medicine
15. Robert FitzRoy and the early Met Office · Met Office https://www.metoffice.gov.uk/research/library-and-archive/archive-hidden-treasures/robert-fitzroy
16. Air pressure · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure
17. Learning lesson: the "dry" barometer · NOAA JetStream https://www.noaa.gov/jetstream/ll-pressure2
18. Cubical expansion coefficients of liquids · The Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/cubical-expansion-coefficients-d_1262.html
19. Calibrating your food thermometer · Texas A&M AgriLife Extension https://agrilifeextension.tamu.edu/calibrating-your-food-thermometer
20. High-altitude cooking (Guide E-215) · New Mexico State University Cooperative Extension https://pubs.nmsu.edu/_e/E215/
21. Cooking your food · Food Standards Agency https://www.gov.uk/government/publications/cooking-your-food/cooking-your-food
22. What to do if a mercury thermometer breaks · US Environmental Protection Agency https://www.epa.gov/mercury/what-do-if-mercury-thermometer-breaks

Factos verificados em 2026-10-14

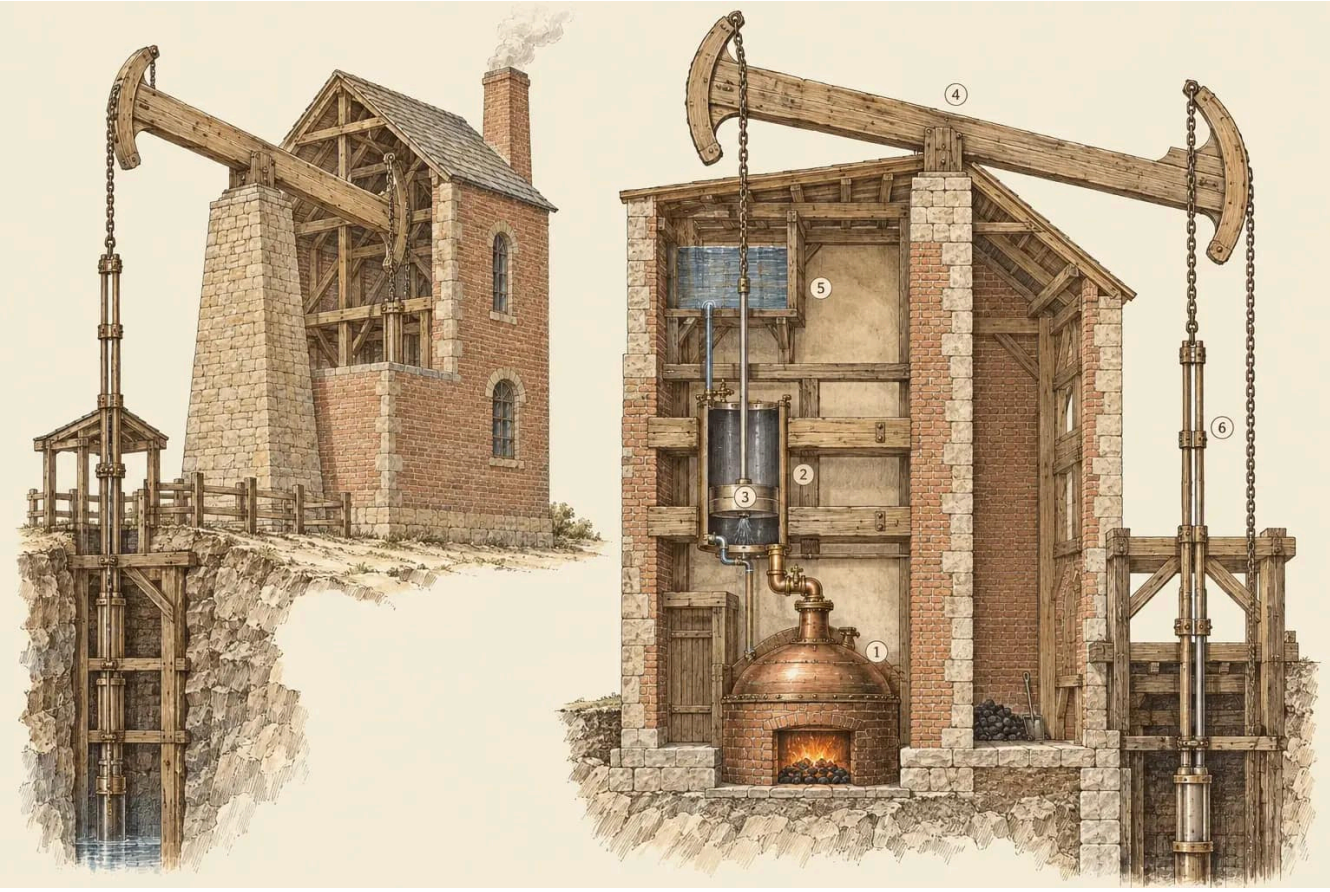
Máquina a vapor

O calor transformado em movimento

1712 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Metalurgia do ferro (p. 136), Engrenagens (p. 153), Bomba de pistão (p. 161)

Conduz a: Motor de combustão interna (p. 313), Refrigeração (p. 282), Locomotiva a vapor (p. 244), Turbina a vapor (p. 325)



1 Caldeira 2 Cilindro 3 Êmbolo 4 Balanceiro 5 Reservatório de água de injeção 6 Hastes da bomba

Uma máquina a vapor transforma o calor de um fogo em movimento, usando vapor para empurrar um êmbolo. A máquina de Thomas Newcomen, de 1712, tirava água das minas, e as melhorias de James Watt a partir de 1765 tornaram a força do vapor barata o suficiente para mover as fábricas da Revolução Industrial.

O que é

Uma máquina a vapor usa o vapor da água a ferver para empurrar um êmbolo e, assim, transforma combustível em trabalho mecânico. As primeiras tiravam água das minas; as seguintes moveram fiações e outras máquinas, e impulsionaram navios e locomotivas.

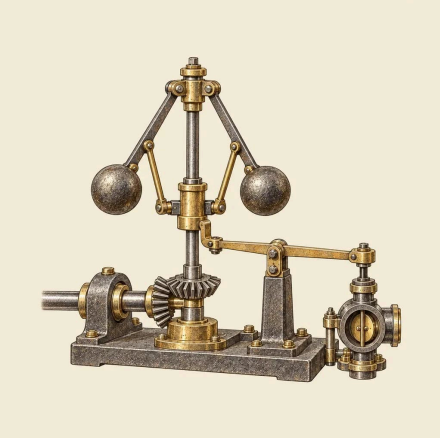
A máquina da prancha é do tipo que Thomas Newcomen construiu em 1712. Chama-se máquina atmosférica porque o trabalho é feito pela pressão do ar exterior; o vapor serve apenas para fazer o vácuo. A caldeira trabalha pouco acima da pressão atmosférica, por isso tem muito menos probabilidade de rebentar do que as caldeiras de alta pressão do século XIX.

Como funciona

A máquina organiza-se em torno de um cilindro vertical, aberto em cima, com um êmbolo lá dentro. O êmbolo está suspenso por uma corrente numa das pontas de um grande balanceiro de madeira, que oscila sobre a parede da casa da máquina. Da outra ponta pendem as hastes da bomba, que descem pelo poço até às bombas no fundo da mina.

As pesadas hastes puxam para baixo a sua ponta do balanceiro, o que levanta o êmbolo, e o vapor da caldeira, colocada por baixo, enche o cilindro. Uma válvula corta o vapor. Um jato de água fria do reservatório é pulverizado dentro do cilindro: o vapor condensa-se de imediato num pouco de água e deixa um vácuo parcial. O ar por cima do êmbolo empurra então com mais força do que o vapor rarefeito que fica por baixo. Num cilindro com meio metro de diâmetro, essa diferença de pressão pode chegar, em teoria, a cerca de 20 quilonewtons, o peso de duas toneladas; a força útil era bastante menor. O êmbolo desce, o balanceiro bascula e as hastes sobem, tirando água da mina.

A eolípila de Héron de Alexandria, no século I d.C., girava com jatos de vapor mas não realizava trabalho útil.



Nas máquinas posteriores de Watt, as esferas do regulador afastam-se quando a máquina acelera e fecham em parte a válvula do vapor.

Quando o vapor volta a entrar, expulsa o ar por uma pequena válvula de purga, enquanto a água condensada escorre por um tubo separado com válvula de retenção. O ciclo repete-se cerca de doze vezes por minuto. Uma haste com batentes, pendurada no balanceiro, abre e fecha as válvulas sozinha.

Em cada curso, o jato frio arrefece o cilindro, e a carga seguinte de vapor tem de o aquecer outra vez antes de o poder encher. A maior parte do carvão gasta-se nesse reaquecimento.

A solução de James Watt foi condensar o vapor num recipiente separado, sempre frio, enquanto o cilindro se mantinha quente. Mais tarde fechou a parte de cima do cilindro, fez o vapor atuar dos dois lados do êmbolo e acrescentou engrenagens para obter movimento de rotação, de modo que a máquina pudesse mover oficinas inteiras e não apenas bombas.

Como construir

Uma máquina atmosférica precisa de um caldeireiro, de um fundidor capaz de vazar e mandrilar um cilindro, de um carpinteiro para o balanceiro e de um pedreiro para a casa.

Fazer a caldeira. Antigamente era um invólucro rebitado de cobre ou de ferro forjado, com o topo abaulado, assente em alvenaria sobre uma grelha de fornalha, com uma válvula de segurança de peso, torneiras para verificar o nível da água e um tubo de alimentação. Uma reconstrução em funcionamento exige uma caldeira projetada, ensaiada e inspecionada por um caldeireiro qualificado; nunca a improvise.

Vazar e mandrilar o cilindro. O cilindro fica logo acima da caldeira, apoiado em vigas grossas embutidas nas paredes, e só se liga a ela por um tubo curto de vapor. O interior tem de ser redondo e liso em todo o comprimento, senão o êmbolo perde; mandrilar com rigor foi um dos problemas mais difíceis do século XVIII.

Ajustar o êmbolo. Guarneça o rebordo com corda ou couro e mantenha por cima uma fina camada de água para vedar.

Levantar o balanceiro. Faça-o de carvalho, com um setor curvo em cada ponta para que as correntes puxem na vertical. Apoie o eixo central numa parede grossa.

Montar as válvulas. Uma deixa entrar o vapor e outra pulveriza água fria de um reservatório colocado no alto da casa; uma válvula de purga deixa sair o ar, e um tubo com válvula de retenção escoa a água condensada. Comande-as primeiro à mão e depois com batentes fixados numa haste pendurada no balanceiro.

> **Segurança.** Uma caldeira com a válvula de segurança entupida, presa ou sobrecarregada pode explodir: nunca obstrua nem isole a via de descarga, e nunca acrescente peso à válvula. O vapor e a água quente queimam gravemente. Mantenha-se longe do balanceiro, das correntes e das hastes enquanto a máquina trabalha, e vede o poço com uma cerca.

História e evolução

Héron de Alexandria descreveu no século I d.C. uma esfera posta a girar por jatos de vapor, mas ela ficou como curiosidade. Em 1690, Denis Papin mostrou que a condensação do vapor sob um êmbolo podia levantar um peso. Thomas Savery patenteou em 1698 uma bomba sem êmbolo: aspirava água condensando vapor num recipiente e depois empurrava-a mais alto com a pressão do vapor, mas só servia para alturas modestas.

Newcomen, ferrageiro de Dartmouth, e o seu sócio John Calley instalaram a primeira máquina em funcionamento em 1712, numa mina de carvão perto do castelo de Dudley. Como a patente de Savery abrangia a elevação de água pelo fogo, as máquinas de Newcomen foram construídas ao abrigo dessa patente até ela expirar, em 1733. Quando Newcomen morreu, em 1729, já funcionavam mais de cem na Grã-Bretanha e na Europa.

A engrenagem sol e planeta de Watt, de 1781, transformava o vaivém do balanceiro em rotação.

Em 1763, James Watt, fabricante de instrumentos na Universidade de Glasgow, foi encarregado de reparar um modelo de máquina Newcomen. Dois anos depois teve a ideia do condensador separado, que patenteou em 1769. Com Matthew Boulton, começou a vender máquinas em 1776. Gastavam cerca de um quarto do combustível de uma máquina Newcomen da mesma potência. Por volta de 1800, quando a patente de Watt expirava, Richard Trevithick e outros passaram ao vapor de alta pressão para construir máquinas mais pequenas e leves, que depressa chegaram aos carris e aos navios.

Números-chave

Primeira máquina em funcionamento
1712, mina de carvão de Conygree, perto de Dudley (Inglaterra)

Cadência
Cerca de 12 cursos por minuto

Condensador separado de Watt
Concebido em 1765, patenteado em 1769, cerca de 75% menos combustível

Pressão numa caldeira Newcomen
Cerca de 0,07 a 0,14 bar acima da pressão atmosférica

Máquinas Newcomen construídas até 1729
Mais de 100

Fontes

1. Newcomen atmospheric engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_atmospheric_engine
2. Watt steam engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine
3. Newcomen atmospheric engine (object 1920-124) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co50900/newcomen-atmospheric-engine-atmospheric-steam-engine
4. ASME Landmark: Newcomen Engine · Engineering and Technology History Wiki (ASME) https://ethw.org/ASME-Landmark:Newcomen_Engine
5. A new age · Science Museum https://blog.sciencemuseum.org.uk/a-new-age/

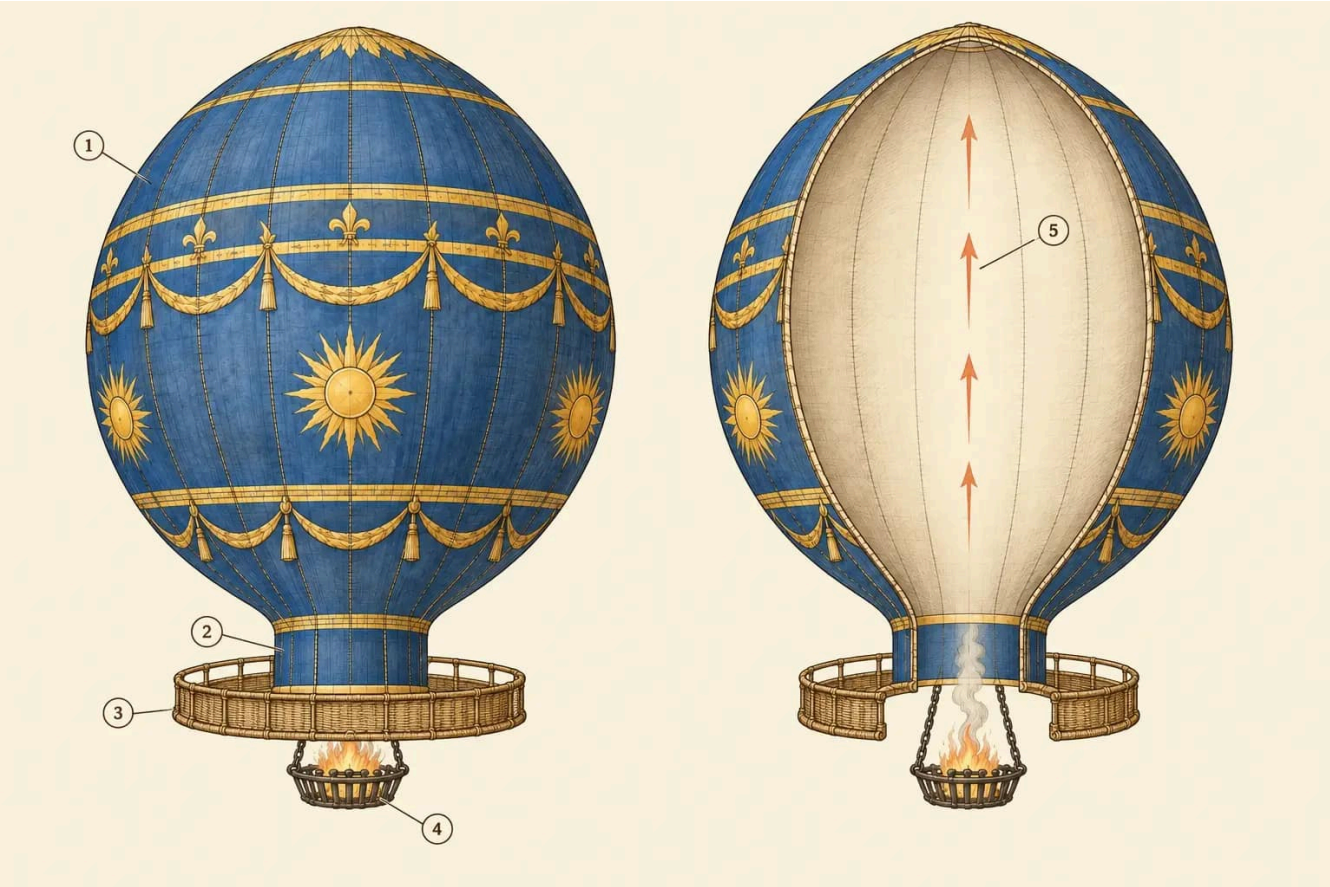
Factos verificados em 2026-10-11

Balão de ar quente

Subir no ar quente

1783 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Papel (p. 169), Domínio do fogo (p. 9), Tecelagem (p. 44)



1 Invólucro 2 Boca aberta 3 Galeria de vime 4 Braseiro 5 Ar quente ascendente

Um balão de ar quente sobe porque o ar aquecido dentro do seu invólucro é mais leve do que o ar mais fresco à volta. Os irmãos Montgolfier, que em 1782 tinham feito voar um pequeno modelo numa sala, mostraram um em público pela primeira vez em França em 1783, e a 21 de novembro desse ano o seu balão levou dois homens sobre Paris, no primeiro voo humano livre.

O que é

Um balão de ar quente é um grande saco leve, o invólucro, aberto em baixo e cheio de ar aquecido. O ar quente é menos denso do que o frio, por isso o saco e o que dele pende pesam menos do que o ar exterior que deslocam, e o conjunto sobe. Nada o impele: um balão sobe quando se aquece o ar que contém, desce quando esse ar arrefece e vai à deriva com o vento.

O balão da prancha é o que Joseph e Étienne Montgolfier, fabricantes de papel de Annonay, construíram para o primeiro voo livre com pessoas a bordo, a 21 de novembro de 1783. Os relatos dão-lhe pouco mais de 20 m de altura. Era de pano, descrito como linho ou tafetá, forrado a papel, coberto com um verniz de alúmen contra o

fogo e pintado de azul e dourado. Uma galeria de vime em forma de anel rodeava a boca aberta e levava os dois aeronautas; no meio da abertura pendia um braseiro de ferro onde ardia palha.

Como funciona

À pressão do nível do mar, um metro cúbico de ar a 20 °C pesa cerca de 1,2 kg. Aquecido a 100 °C, o mesmo volume pesa apenas cerca de 0,95 kg, porque o ar se dilatou e parte dele saiu pela boca aberta. Cada metro cúbico de ar quente dentro do invólucro dá, portanto, cerca de um quarto de quilo de impulsão, que tem de levar o invólucro e o equipamento antes de qualquer passageiro. Um balão precisa de um volume enorme para levar alguma coisa: o invólucro dos Montgolfier de 1783 continha mais de mil metros cúbicos.

O ar quente sobe para a cúpula e empurra o pano. O calor escapa-se pouco a pouco através do tecido e pela boca, por isso o ar tem de ser aquecido vezes sem conta. Em 1783 os aeronautas metiam palha à forquilha no braseiro por aberturas da galeria; para subir juntavam combustível, para descer deixavam o fogo baixar. O invólucro pegou fogo várias vezes durante o primeiro voo, e eles apagaram os focos com esponjas molhadas.

Um balão moderno: garrafas de propano num cesto de vime e um queimador por baixo da boca aberta de um invólucro de nylon.

Um balão moderno funciona da mesma maneira com materiais melhores. O invólucro é de nylon ou poliéster, o cesto de vime, e um queimador a propano lança chamas curtas e potentes para a boca do invólucro. O piloto sobe ou desce para encontrar ventos que soprem noutras direções: é a única maneira de o dirigir.

Como construir

Uma maqueta de papel de seda cheia com o ar quente de um secador de cabelo mostra o princípio sem qualquer chama. Tem de ser grande e leve, porque o ar de um secador só é moderadamente quente.

Cortar os gomos. Faça um molde de cartão para um gomo: uma folha comprida e pontiaguda com 2 m de comprimento e 40 cm na parte mais larga, com a ponta de baixo cortada a direito onde mede 8 cm de largura. Corte oito gomos no papel de seda mais fino que encontrar, juntando folhas com cola em stick se for preciso.

Colar o invólucro. Cole os gomos borda com borda, sobrepondo cerca de 1 cm, de modo que as pontas se juntem em cima e as pontas direitas de baixo formem uma boca redonda. Feche o topo com um pequeno remendo redondo. Cole a boca a um aro de arame fino ou de cartolina leve com 20 cm de diâmetro, para que se mantenha aberta.

Enchê-lo. Dentro de casa, numa divisão fresca e sem correntes de ar, peça a alguém que segure o invólucro direito pelo topo, com a boca para baixo. Sopre para dentro da boca, durante dois ou três minutos, o ar de um secador na posição mais quente, a cerca de 20 cm por baixo, mantendo-o em movimento e sem tapar a entrada de ar. Desligue o secador e afaste-o antes de largar, para que só o ar quente lá dentro faça subir o balão. Se o saco puxar para cima, sobe em direção ao teto e volta a descer quando o ar arrefece; se não, o ar não está quente o bastante para o seu peso, e um papel mais fino ou um invólucro maior ajudarão.

Uma maqueta de oito gomos de papel: o ar quente de um secador pode fazê-la subir se o papel for leve o suficiente.

> **Segurança.** Nunca aqueça um balão de papel com uma vela, um queimador ou qualquer chama, e nunca solte lanternas voadoras: caem ainda acesas e provocam incêndios. Mantenha o secador a pelo menos 20 cm do papel, nunca tape a entrada de ar e pare logo se o papel escurecer ou cheirar a queimado. Os balões a sério só são pilotados por pilotos com licença e equipamento certificado.

História e evolução

Joseph Montgolfier fez voar um pequeno balão de seda numa sala em novembro de 1782 e depois construiu outros maiores com o irmão Étienne. A 4 de junho de 1783, na praça do mercado de Annonay, largaram um balão sem tripulação, de pano e papel, com cerca de 11 m de diâmetro, que subiu muito alto sobre a cidade e desceu a mais de um quilómetro e meio ao fim de uns dez minutos.

A 19 de setembro de 1783, em Versalhes, diante de Luís XVI e Maria Antonieta, um balão levou num cesto uma ovelha, um pato e um galo. Dois meses depois, a 21 de novembro, Jean-François Pilâtre de Rozier, professor de ciências, e o marquês d'Arlandes, oficial do exército, partiram dos jardins do castelo de la Muette, junto ao Bois de Boulogne, no extremo oeste de Paris. Voaram cerca de 25 minutos, no máximo a uns 900 m de altitude, e desceram em terreno aberto perto da atual praça de Itália, a uns 9 km. Dez dias depois, Jacques Charles e Nicolas-Louis Robert partiram das Tulherias num balão de hidrogénio. Os balões de gás aguentavam-se no ar muito mais tempo, e o ar quente passou a ser pouco usado.

Os primeiros passageiros, em Versalhes em setembro de 1783: uma ovelha, um pato e um galo.

O balão de ar quente regressou no fim da década de 1950, quando o norte-americano Ed Yost juntou um invólucro de tecido sintético a um queimador alimentado a propano engarrafado. O seu voo a partir de Bruning, no Nebraska, a 22 de outubro de 1960, é considerado o primeiro de um balão de ar quente moderno, e a partir de 1961 a sua empresa, a Raven Industries, vendeu balões de ar quente para desporto.

Números-chave

Primeira ascensão pública
Annonay, 4 de junho de 1783, sem tripulação

Primeiros passageiros
Uma ovelha, um pato e um galo, Versalhes, 19 de setembro de 1783

Primeiro voo humano livre
21 de novembro de 1783, Paris: cerca de 25 minutos, uns 9 km

Impulsão do ar quente
Cerca de 0,25 kg por metro cúbico com ar a 100 °C contra 20 °C, ao nível do mar

Balão moderno
Ed Yost, Bruning (Nebraska), 22 de outubro de 1960: queimador a propano

Fontes

1. Model of Montgolfier balloon used in first demonstration to carry human passengers in free flight · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co29133/model-of-montgolfier-balloon-used-in-first-demonstration-to-carry-human-passengers-in-free-flight
2. Montgolfier balloon · The Museum of Flight, Seattle https://www.museumofflight.org/aircraft/montgolfier-baloon
3. Smithsonian recalls 1st manned (balloon) flight · The Christian Science Monitor https://www.csmonitor.com/1983/1205/120524.html
4. Scientist of the Day: Jacques-Alexandre Charles · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/jacques-alexandre-charles
5. How the CIA's secret balloon program led Ed Yost to invent the modern hot air balloon · Seattle Ballooning https://seattleballooning.com/how-the-cia-secret-balloon-program-led-ed-yost-to-invent-the-modern-hot-air-balloon/
6. Ed Yost · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Ed_Yost
7. 21 November 1783 · This Day in Aviation https://www.thisdayinaviation.com/?p=9465
8. Montgolfier brothers (Hall of Fame) · San Diego Air & Space Museum https://sandiegoairandspace.org/hall-of-fame/honoree/montgolfier-brothers
9. Scientist of the Day: The Montgolfier Brothers · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/the-montgolfier-brothers/
10. Earth Atmosphere Model (metric units) · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html
11. Drag of a Sphere · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-of-a-sphere

Factos verificados em 2026-10-12

Vacinação

Ensinar o corpo antecipadamente

1796 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Vidro (p. 132)
Conduz a: Penicilina (p. 356)

1 Vaca leiteira, fonte da varíola bovina 2 Ordenhadora 3 Lanceta no seu estojo 4 Frasco de vidro 5 Pena de ganso e tinteiro 6 A Inquiry de Jenner (1798)

A vacinação treina o sistema imunitário com uma forma enfraquecida, morta ou parcial de um micróbio, para que o corpo consiga mais tarde combater a doença verdadeira. Edward Jenner mostrou em 1796 que a varíola bovina protege contra a varíola e, dois séculos depois, a vacinação fez da varíola a primeira doença humana erradicada.

O que é

A vacinação prepara o corpo contra uma doença infecciosa, normalmente antes de ele a encontrar. A pessoa recebe uma versão enfraquecida, morta ou parcial do micróbio, ou as instruções para fabricar um dos seus componentes. O sistema imunitário reage como perante uma infeção verdadeira, com um risco muito inferior ao da própria doença, e guarda memória do encontro. Se o micróbio verdadeiro chegar mais tarde, a defesa arranca depressa e geralmente trava-o antes que cause danos graves.

A palavra vem do latim *vacca*, vaca. A primeira vacina usava a varíola bovina, uma doença ligeira do gado que as ordenhadoras apanhavam nas mãos, para proteger contra a varíola, uma das doenças mais mortíferas da história. A prancha é uma composição: o ambiente rural da experiência de 1796 e, ao lado, objetos da época, uma lanceta no seu estojo, um frasco de vidro, uma pena e o livro que Jenner publicou em 1798.

Como funciona

O sistema imunitário aprende a reconhecer os micróbios pelas suas formas moleculares, os antigénios. Num primeiro encontro, leva dias a encontrar as células certas e a multiplicá-las. Alguns glóbulos brancos, os linfócitos B, produzem anticorpos que se prendem ao micróbio e o marcam para ser destruído. Outros, os linfócitos T, matam as células infetadas e coordenam a resposta. Esse atraso explica por que razão uma primeira infeção pode tornar-se grave.

Depois de passada a infeção, fica uma população de células de memória, por vezes para toda a vida. Um segundo encontro com o mesmo antigénio desencadeia uma reação mais rápida e mais forte. A vacina proporciona esse primeiro encontro com um risco muito menor do que o da própria doença.

A varíola bovina protegia contra a varíola porque os dois vírus são parentes próximos: os seus antigénios são parecidos o suficiente para que a imunidade contra um cubra o outro. As vacinas seguintes foram obtidas de outras formas. Algumas usam um micróbio vivo tão enfraquecido que raramente causa doença, um método inaugurado por Louis Pasteur; não são dadas a toda a gente, porque uma pessoa com defesas muito fracas pode ainda assim adoecer. Outras usam um micróbio morto, um fragmento purificado ou uma toxina inativada. As mais recentes dão às células o código genético para fabricarem, durante pouco tempo, uma proteína inofensiva do micróbio.

Nas doenças que passam de pessoa para pessoa, o micróbio deixa de circular facilmente quando uma parte suficiente da comunidade está imune e já não o transmite. Esta imunidade de grupo protege também quem não pode receber uma determinada vacina ou responde mal a ela. A proporção necessária depende de quão contagiosa é a doença e de quão bem, e durante quanto tempo, a vacina impede a transmissão. O tétano, que se apanha da terra e não de outras pessoas, não oferece essa proteção partilhada.

As vacinas são desenvolvidas e produzidas sob uma regulamentação médica rigorosa e geralmente administradas por profissionais de saúde. Como qualquer medicamento, podem ter efeitos secundários, que são vigiados depois da autorização.

Como se fabricam as vacinas

Durante a maior parte do século XIX, a única vacina era a da varíola, e a principal dificuldade era manter o vírus vivo de um doente para o seguinte.

De braço a braço. Ninguém sabia ainda cultivar o vírus da varíola bovina em laboratório, por isso mantinha-se nas pessoas. Cerca de uma semana depois da vacinação, formava-se uma vesícula no local. O vacinador abria-a com uma lanceta e usava o líquido claro que ela continha, a linfa, para vacinar a pessoa seguinte. Para mandar a vacina para mais longe, secava-se a linfa em pequenas pontas de marfim, penas ou fios, ou fechava-se entre placas de vidro, e humedecia-se antes de usar. A expedição espanhola de Balmis, que zarpou em 1803, levou a vacina através do Atlântico em 22 rapazes órfãos, vacinados dois a dois durante a viagem. Passar a linfa de pessoa para pessoa também podia transmitir outras doenças, entre elas a sífilis.

Linfa de vitelo. Em Nápoles, os vacinadores mantinham o vírus em vitelos desde o início do século. Depois de o método ser apresentado num congresso médico em Lyon, em 1864, chegou a França e depois a toda a Europa. Os

vitelos eram vacinados com escarificações superficiais numa zona de pele rapada, e a polpa das vesículas era recolhida alguns dias depois. Em 1891, o médico inglês Sydney Copeman mostrou que, misturando essa polpa com glicerina, se matava em algumas semanas a maior parte das bactérias que ela continha, sem destruir o vírus. A linfa de vitelo glicerinada, selada em tubos finos de vidro, tornou-se a vacina de referência na Grã-Bretanha por volta de 1900. Quando os virologistas do século XX examinaram o vírus das reservas de vacina, descobriram que era o vaccinia, um poxvírus aparentado com o da varíola bovina mas distinto dele.

Pontas de marfim e placas de vidro seladas levavam a linfa seca de um vacinador para o seguinte.

As equipas do programa de erradicação localizavam cada caso e vacinavam as pessoas à sua volta.

Vacina liofilizada e agulha bifurcada. Com o calor dos trópicos, a linfa líquida perdia a eficácia num ou dois dias. Nos laboratórios do Lister Institute em Elstree, a norte de Londres, Leslie Collier desenvolveu uma vacina liofilizada, protegida pela adição de peptona, que se conservava durante meses sem refrigeração; trabalhou nela entre 1948 e 1955. Durante a campanha de erradicação iniciada em 1967, a OMS usou apenas vacina liofilizada e mandou verificar os lotes em laboratórios de referência no Canadá e nos Países Baixos. No início da campanha, menos de uma em cada dez vacinas em uso cumpria a norma. A agulha bifurcada, desenvolvida nos Wyeth Laboratories, nos Estados Unidos, na década de 1960, é uma haste curta de aço terminada em dois dentes que retêm uma única gota de vacina. O vacinador pressionava-a contra a pele da parte de cima do braço cerca de quinze vezes, numa pequena área. Gastava um quarto da vacina que se usava antes, podia ser esterilizada e reutilizada, e aprendia-se a manejar em poucos minutos.

Vacinas modernas. As vacinas vivas atenuadas usam um micróbio enfraquecido até raramente causar doença: o vírus do sarampo, por exemplo, foi enfraquecido por cultura ao longo de muitas gerações em células, e a vacina BCG contra a tuberculose é uma bactéria enfraquecida. As vacinas inativadas partem de um micróbio cultivado, no caso dos vírus em ovos ou em culturas de células, que depois é morto com um produto químico como o formaldeído; a vacina de Jonas Salk contra a poliomielite, de 1955, foi feita assim. Os toxoides contra o tétano e a difteria são toxinas bacterianas inativadas de forma semelhante. As vacinas de subunidades contêm apenas partes selecionadas e purificadas do micróbio: a vacina recombinante contra a hepatite B, autorizada nos Estados Unidos em 1986, é uma proteína viral produzida por leveduras portadoras do respetivo gene. As vacinas de ARN mensageiro não contêm nenhuma parte do micróbio. O ARN é copiado por enzimas a partir de um molde de ADN, purificado e envolvido em minúsculas partículas de gordura que o levam para dentro das células.

Controlo de qualidade. A produção parte de um lote-semente de vírus, bactérias ou células conservado congelado, para que a estirpe não se altere de um lote para outro. Os fabricantes testam a identidade, a esterilidade, a pureza e a potência de cada lote e guardam amostras. Na maioria dos países, uma autoridade reguladora nacional e o seu laboratório de controlo analisam esses resultados, e por vezes repetem os testes, antes de cada lote poder ser libertado.

> **Segurança.** Esta secção descreve a forma como laboratórios e fábricas produziram vacinas. Nunca tente preparar uma vacina por conta própria: um material feito em casa pode conter micróbios perigosos, provocar uma infeção grave e não dar proteção nenhuma. Use apenas vacinas autorizadas, de lotes libertados, administradas por profissionais de saúde ou, no caso dos poucos produtos aprovados para isso, exatamente como foram prescritas.

História e evolução

Muito antes das vacinas havia a variolização, a infeção deliberada de uma pessoa saudável com matéria de uma pústula de varíola. Costumava provocar uma forma mais ligeira, seguida de imunidade para toda a vida, embora algumas pessoas morressem. A prática era antiga na China, na Índia e no Império Otomano. Lady Mary Wortley Montagu conheceu-a em Constantinopla e, em 1721, mandou variolizar a filha em Londres, o que ajudou a difundi-la na Grã-Bretanha.

Os agricultores do oeste de Inglaterra tinham reparado havia muito que as ordenhadoras que apanhavam varíola bovina pareciam poupadas à varíola. O cirurgião John Fewster falou disso em 1768 e, em 1774, Benjamin Jesty, agricultor do Dorset, transmitiu deliberadamente a varíola bovina à mulher e a dois dos filhos durante uma epidemia.

Edward Jenner, médico em Berkeley, no condado de Gloucestershire, transformou essa observação popular numa experiência. A 14 de maio de 1796, retirou matéria de uma pústula de varíola bovina da mão da ordenhadora Sarah Nelmes e introduziu-a no braço de James Phipps. Algumas semanas depois, expôs o rapaz a matéria de varíola, e Phipps não adoeceu. A Royal Society não publicou o seu primeiro relatório, por isso, em 1798, Jenner publicou o caso, juntamente com outros, à sua custa, num livro curto, a *Inquiry*. Em poucos anos a vacinação espalhou-se por toda a Europa e pelas Américas.

No final da década de 1870, Louis Pasteur verificou que uma cultura da bactéria da cólera das galinhas, deixada envelhecer, já não causava doença mas continuava a proteger as aves. Desenvolveu vacinas contra o carbúnculo das ovelhas em 1881 e depois contra a raiva. A 6 de julho de 1885, Joseph Meister, um rapaz de nove anos mordido por um cão raivoso, começou o tratamento e sobreviveu. É habitualmente apresentado como a primeira pessoa vacinada contra a raiva, embora os historiadores tenham encontrado tentativas anteriores em doentes em maio e junho de 1885. O vírus da raiva costuma levar semanas a chegar ao cérebro, por isso uma vacinação feita pouco depois da mordedura, antes de qualquer sintoma, ainda podia evitar a doença. Qualquer suspeita de exposição exige cuidados médicos imediatos. O século XX acrescentou vacinas contra a difteria, o tétano, a tosse convulsa, a tuberculose, a poliomielite, o sarampo e muitas outras doenças.

Pasteur fazia as suas vacinas enfraquecendo o micróbio da própria doença.

Em 1967, a Organização Mundial da Saúde lançou uma campanha intensificada para acabar com a varíola. O último caso natural ocorreu na Somália em 1977 e, a 8 de maio de 1980, a Assembleia Mundial da Saúde declarou a doença erradicada. Em 2020, vacinas baseadas em ARN mensageiro, fruto de várias décadas de investigação, foram usadas contra a COVID-19 menos de um ano depois de o vírus ter sido identificado.

Números-chave

Primeira vacinação de Jenner
14 de maio de 1796, Berkeley (Gloucestershire)

Início do tratamento antirrábico de Joseph Meister
6 de julho de 1885, Paris

Agulha bifurcada
Década de 1960, Wyeth Laboratories; um quarto da vacina usada antes

Letalidade da varíola
Cerca de 30 % dos casos (varíola major)

Varíola declarada erradicada
8 de maio de 1980, Organização Mundial da Saúde

Fontes

1. Smallpox · World Health Organization https://www.who.int/health-topics/smallpox
2. Jenner, Fewster and Jesty · British Society for the History of Medicine https://bshm.org.uk/jenner-fewster-and-jesty/
3. The final years 1877–1887 · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/en/about-us/final-years-1877-1887
4. Edward Jenner · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Jenner
5. Edward Jenner's ivory vaccination points, England, 1821 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148487/edward-jenners-ivory-vaccination-points-england-1821-vaccination-point
6. Ivory vaccination points in a wooden box, Europe, 1801-1900 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co148479/ivory-vaccination-points-europe-1801-1900-vaccination-point
7. Vaccine points used by Edward Jenner · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/j36r9neu
8. The XIX century smallpox prevention in Naples and the risk of transmission of human blood-related pathogens · Journal of Translational Medicine https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4328853/
9. Sydney Arthur Monckton Copeman · Royal College of Physicians https://history.rcp.ac.uk/inspiring-physicians/sydney-arthur-monckton-copeman
10. Collier, Professor Leslie Harold (papers) · Wellcome Collection https://wellcomecollection.org/works/egjmdv8t
11. Smallpox vaccines · World Health Organization https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/smallpox-vaccines
12. Donald Ainslie Henderson (1928–2016): smallpox eradication, leadership and legacy · The Journal of Infectious Diseases https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5388283/
13. Different types of vaccines · History of Vaccines (College of Physicians of Philadelphia) https://historyofvaccines.org/vaccines-101/what-do-vaccines-do/different-types-vaccines/
14. Lot release of vaccines by NRAs/NCLs · World Health Organization https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/standards-and-specifications/norms-and-standards/vaccine-standardization/lot-release-of-vaccines
15. Smallpox and its eradication (Fenner, Henderson, Arita, Ježek, Ladnyi), chapter 7 · World Health Organization https://iris.who.int/handle/10665/39485
16. Smallpox vaccination in 2003: key information for clinicians · Clinical Infectious Diseases https://doi.org/10.1086/374792
17. Expected vaccine reactions (smallpox vaccine) · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/smallpox/hcp/vaccines/expected-vaccine-reactions.html
18. Vaccination, Encyclopaedia Britannica, 9th edition, volume 24 · Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/Page:Encyclop%C3%A6dia_Britannica,_Ninth_Edition,_v._24.djvu/40

Factos verificados em 2026-10-12

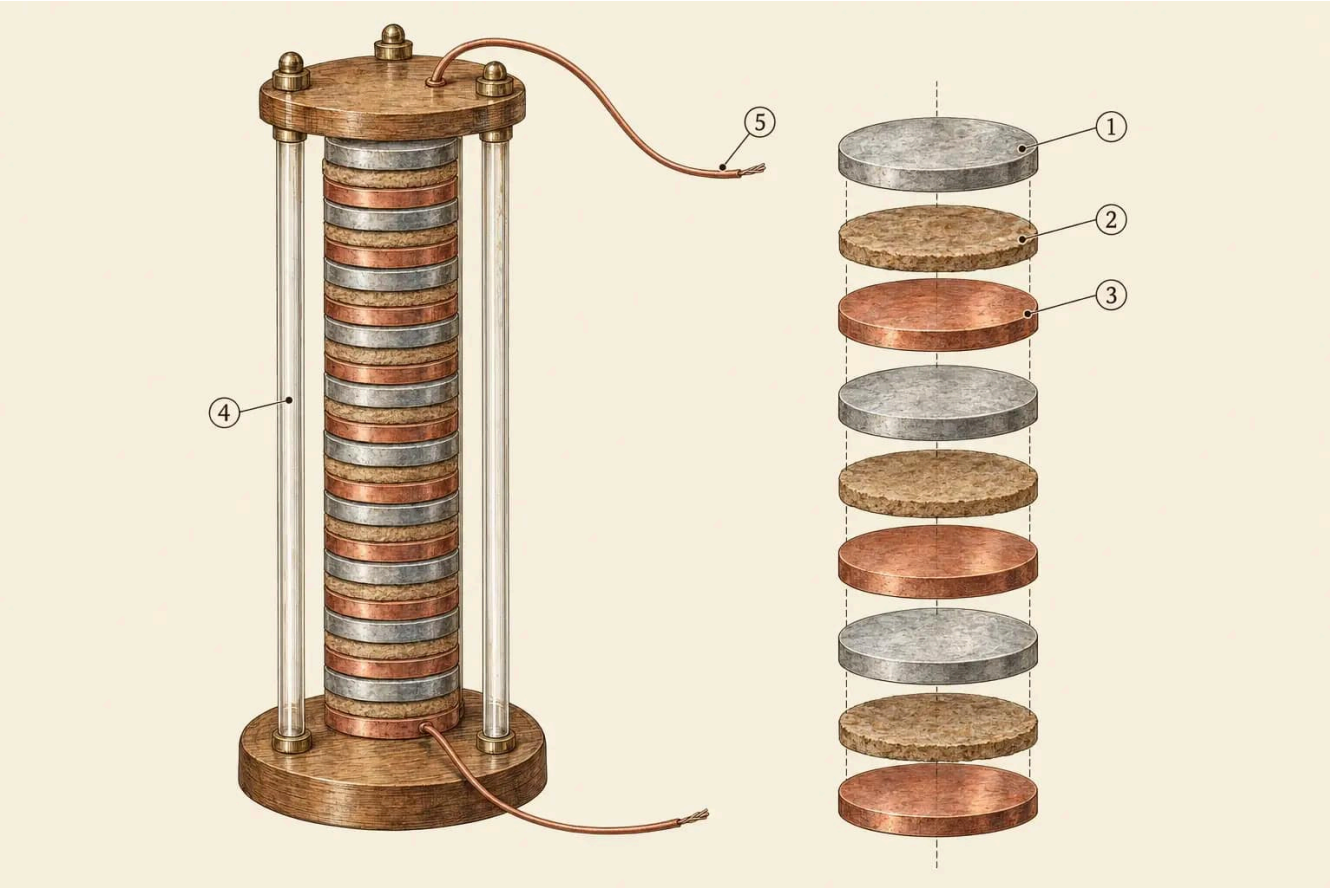
Pilha elétrica

Corrente elétrica gerada pela química

1800 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Bronze (p. 123)

Conduz a: Motor elétrico (p. 278), Gerador elétrico (p. 274), Bateria de chumbo-ácido (p. 303), Célula solar (p. 370), Telégrafo elétrico (p. 286)



1 Disco de zinco 2 Cartão embebido em salmoura 3 Disco de cobre 4 Haste de vidro 5 Fio terminal

Uma pilha elétrica transforma em corrente elétrica contínua as reações químicas que ocorrem em dois elétrodos, separados por um eletrólito que conduz iões. A pilha de zinco, cobre e salmoura de Alessandro Volta foi a primeira, em 1800, e todas as que vieram depois, do frasco do telégrafo à bateria de lítio do telemóvel, assentam no mesmo princípio.

O que é

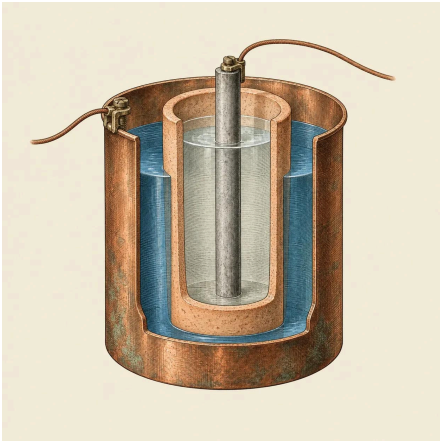
Uma pilha guarda energia sob forma química e devolve-a como corrente elétrica quando um circuito com uma lâmpada ou outra carga liga os seus dois terminais. A unidade básica chama-se elemento. No tempo de Volta, «bateria» designava vários elementos ligados entre si, como a coluna que ele empilhou em 1800; hoje a palavra também se aplica a um elemento isolado.

Antes da pilha, a eletricidade só aparecia em faíscas breves; a pilha dava uma corrente que se mantinha durante horas.

Como funciona

Cada elemento da pilha tem um disco de zinco, um disco de cobre e, entre eles, uma rodela de cartão ou de pano embebida em água salgada. O zinco cede eletrões com mais facilidade do que o cobre. Do lado do zinco, átomos de metal passam para a salmoura como iões e deixam os seus eletrões no disco. Do lado do cobre, uma reação volta a captar eletrões, consumindo o oxigénio dissolvido na salmoura ou libertando hidrogénio. Quando um circuito exterior liga as duas pontas, os eletrões circulam por ele do zinco para o cobre, e os iões que atravessam a camada húmida fecham o circuito.

Um par zinco-cobre em salmoura dá pouco menos de um volt. Vinte pares em série somam as tensões, o suficiente para sentir um formigueiro nítido com os dedos molhados, que era a forma como Volta testava as suas pilhas. A intensidade da corrente depende da área dos discos e da rapidez da reação.



Na pilha de Daniell deposita-se cobre na parede em vez de hidrogénio, e a tensão mantém-se estável.

À medida que a pilha trabalha, o oxigénio dissolvido junto ao cobre esgota-se e as bolhas de hidrogénio começam a cobri-lo, pelo que a corrente diminui. O peso da coluna também espreme a salmoura das camadas de baixo, e o zinco vai-se corroendo. Em 1836, John Frederic Daniell deu a cada metal o seu próprio líquido: o zinco numa solução, o cobre em sulfato de cobre, com uma barreira porosa entre ambos. Em vez de hidrogénio deposita-se cobre, e o elemento mantém cerca de 1,1 volts durante muito tempo.

Numa pilha recarregável, uma corrente enviada no sentido oposto faz a reação andar para trás.

Como construir

Uma pequena pilha dá pouca tensão e pouca corrente, mas mostra o princípio com clareza.

São precisos quinze a vinte discos de cobre (moedas antigas de cobre servem), outros tantos discos de zinco (chapa de zinco ou anilhas galvanizadas), papel mata-borrão ou cartão cortado um pouco mais pequeno, sal, água, dois fios isolados e, se possível, um voltímetro.

Limpar o metal. Esfregar cada disco de cobre com lixa fina até brilhar.

Embeber os separadores. Dissolver duas colheres bem cheias de sal num copo de água e mergulhar o cartão. Apertar cada rodela até ficar húmida mas sem pingar. A salmoura que escorre pela coluna põe os elementos em curto-circuito.

Empilhar sempre pela mesma ordem. Cobre, separador húmido, zinco, e repetir pela mesma ordem até ao topo. Nunca inverter a ordem a meio, nem deixar que os dois metais de um mesmo elemento se toquem pela borda do separador.

Segurar a coluna. Três hastes de madeira ou de vidro fixadas numa base mantêm-na direita sem a apertar.

Ligar e medir. Prender um fio ao disco de cobre de baixo e outro ao disco de zinco de cima. Obtém-se pouco menos de um volt por elemento. Um LED vermelho precisa de cerca de dois volts e de muito pouca corrente: ligar a perna comprida à ponta do cobre e a perna curta à ponta do zinco, e experimentá-lo apenas com quatro ou cinco elementos, que o devem acender fracamente. Ligado ao contrário a mais elementos, um LED pode danificar-se. Quando os separadores secarem, ao fim de algumas horas, desmontar a pilha, lavar e secar os discos.

> **Segurança.** A pilha em si é de baixa tensão, mas um curto-circuito numa bateria potente aquece os fios ao ponto de queimar a pele e derreter o isolamento: nunca ligar os terminais diretamente. Nunca ligar uma pilha ou bateria à corrente da rede nem tentar carregá-la numa tomada. Não abrir baterias comerciais: as baterias de chumbo contêm ácido sulfúrico, que queima a pele e os olhos, e libertam hidrogénio explosivo durante a carga; os elementos de lítio podem incendiar-se se forem perfurados, esmagados ou postos em curto-circuito. O sulfato de cobre e os sais de zinco são tóxicos: usar luvas e óculos, lavar as mãos e manter o material longe das crianças.

História e evolução

As patas de rã de Galvani contraíam-se sempre que um arco de dois metais unia o nervo ao músculo.

Na década de 1780, o anatomista bolonhês Luigi Galvani viu patas de rã dissecadas contraírem-se ao tocarem ao mesmo tempo em dois metais diferentes. Em 1791 publicou a sua teoria da «eletricidade animal». Alessandro Volta, professor de física em Pavia, defendia que eram os metais a produzir a eletricidade e que a rã apenas a detetava, e quis prová-lo sem animal nenhum.

Primeiro ligou taças de salmoura com tiras de metal; depois construiu a pilha, mais compacta. A 20 de março de 1800 descreveu os dois dispositivos numa carta, escrita em francês, a Sir Joseph Banks, presidente da Royal Society de Londres. A Sociedade publicou-a nesse mesmo ano com uma gravura da pilha, a primeira imagem impressa de uma bateria.

Em poucas semanas, William Nicholson e Anthony Carlisle usaram uma pilha para decompor a água em hidrogénio e oxigénio. Alguns anos depois, Humphry Davy isolou o sódio e o potássio com grandes baterias. Napoleão assistiu a uma demonstração de Volta em Paris em 1801 e recompensou-o, e a unidade de tensão elétrica, o volt, tem o seu nome.

As linhas telegráficas precisavam de uma corrente regular, e a pilha de Daniell forneceu-a. Em 1859, Gaston Planté enrolou duas folhas de chumbo em espiral, com um separador entre elas, e mergulhou-as em ácido sulfúrico diluído. Johann Ritter já tinha apresentado uma pilha de acumulação experimental em 1803, mas a de Planté foi a primeira bateria recarregável prática. Melhorada por Camille Faure em 1881, a bateria de chumbo-ácido ainda põe a trabalhar a maioria dos automóveis.

A espiral de chumbo de Planté, em ácido diluído, podia ser carregada e descarregada vezes sem conta.

Em 1866, Georges Leclanché montou um elemento com uma barra de zinco, uma barra de carvão envolta em dióxido de manganês e uma solução de cloreto de amónio; em 1868 já funcionavam vinte mil nas redes telegráficas. Outros inventores engrossaram depois o líquido até formar uma pasta, e esta «pilha seca» alimentou as primeiras lanternas de bolso e os rádios da década de 1920. As primeiras pilhas alcalinas cilíndricas comerciais surgiram em 1959, e as baterias de iões de lítio entraram no mercado no início da década de 1990.

Números-chave

Anúncio
20 de março de 1800, numa carta à Royal Society

Tensão de um elemento zinco-cobre
Menos de 1 V em salmoura; 1,1 V numa pilha de Daniell

Primeira bateria recarregável prática
Elemento de chumbo-ácido de Gaston Planté, 1859

Baterias de iões de lítio à venda
Início da década de 1990

Fontes

1. Voltaic Pile (1800) · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/voltaic-pile-1800/
2. Electricity and Magnetism Timeline, 1800 to 1819 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/timeline/1800-1819/
3. Volta and the Pile · The Electrochemical Society, Electrochemistry Encyclopedia https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-v01-volta.htm
4. Scientist of the Day: Alessandro Volta · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/alessandro-volta
5. Timeline of Battery Development · LibreTexts Chemistry https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chem1_(Lower)/16%3A_Electrochemistry/16.07%3A_Timeline_of_Battery_Development
6. Battery History · Energizer https://oem.energizer.com/english/battery-history/

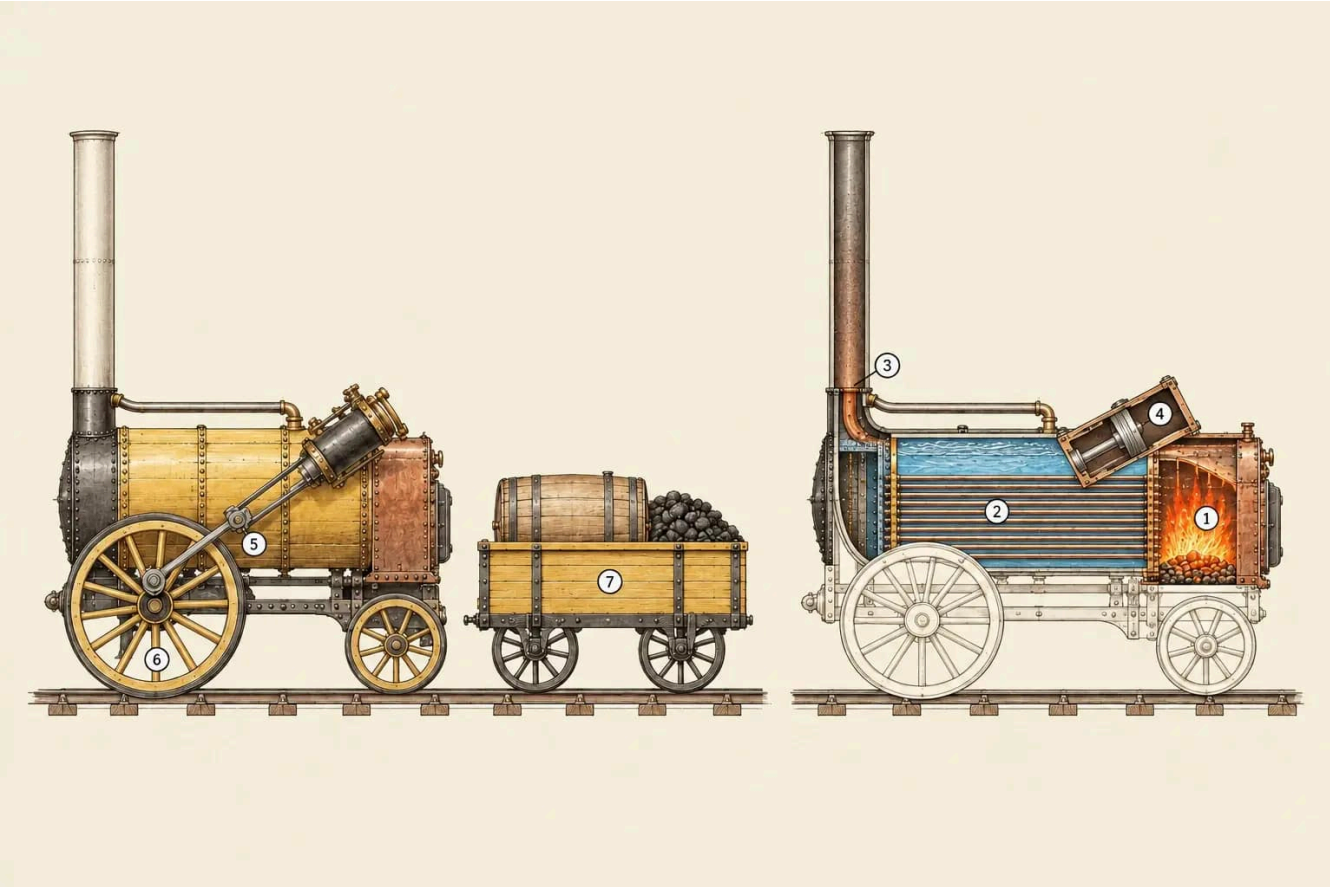
Factos verificados em 2026-10-11

Locomotiva a vapor

O vapor sobre carris

1804 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Máquina a vapor (p. 227), Roda e eixo (p. 81)



1 Fornalha 2 Tubos de fumo 3 Escape e chaminé 4 Cilindro 5 Biela 6 Roda motriz 7 Tênder

Uma locomotiva a vapor é uma máquina a vapor sobre rodas que leva consigo o combustível e a água e puxa comboios sobre carris. Richard Trevithick pôs a primeira a andar no País de Gales em 1804, e a Rocket de Robert Stephenson, de 1829, fixou o modelo seguido pela maioria das locomotivas posteriores: uma caldeira cheia de tubos de fumo, um escape debaixo da chaminé e cilindros que movem diretamente as rodas.

O que é

Uma locomotiva a vapor é uma máquina a vapor montada sobre um chassis com rodas, feita para puxar comboios numa via-férrea. Leva consigo carvão ou coque e água, queima o combustível numa fornalha e transforma a pressão do vapor na rotação das rodas motrizes através de êmbolos e bielas. As suas rodas de ferro andam sobre carris de ferro ou de aço, onde rolam com muito mais facilidade do que numa estrada, por isso uma só máquina consegue puxar muitos vagões carregados.

A gravura mostra a Rocket, construída em 1829 pela Robert Stephenson and Company em Newcastle upon Tyne. Juntou numa só máquina uma caldeira atravessada por muitos tubos de fumo e um escape de vapor na chaminé,

dois elementos que continuaram a ser comuns nas locomotivas a vapor posteriores.

Como funciona

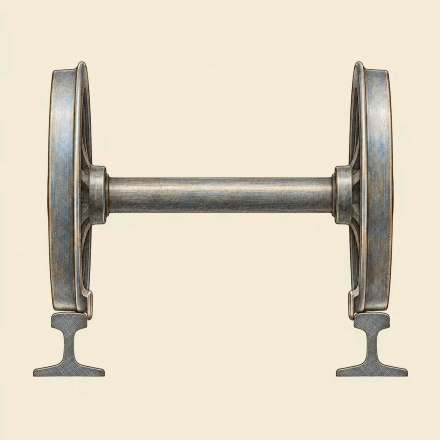
O fogo arde sobre uma grelha na fornalha, na parte de trás. Os gases quentes avançam através do corpo da caldeira por 25 tubos de cobre com cerca de 76 mm de diâmetro, rodeados de água. Muitos tubos pequenos dão à água muito mais metal quente do que uma única conduta larga: na Rocket, os tubos davam várias vezes a superfície de aquecimento das paredes da fornalha (os números variam conforme as fontes). O vapor acumula-se por cima da água a cerca de 3,4 bar acima da pressão atmosférica.

Da caldeira, o vapor segue para os dois cilindros, um de cada lado. Uma gaveta deixa-o entrar primeiro atrás do êmbolo e depois à frente, de modo que o êmbolo é empurrado nos dois sentidos. Cada haste do êmbolo move uma biela, que faz girar um moente fixado na grande roda da frente do mesmo lado. O peso que assenta sobre esse par de rodas, cerca de 2,6 toneladas na Rocket, juntamente com a aderência entre rodas e carris, limita quanto a máquina pode puxar antes de as rodas patinarem.

O escape sopra o vapor usado pela chaminé e aviva o fogo a cada golpe do êmbolo.

O vapor usado sai dos cilindros por um tubo que termina num bocal debaixo da chaminé; cada baforada arrasta o fumo e puxa ar fresco através do fogo. Quanto mais a máquina trabalha, mais forte é a tiragem, o que ajuda a caldeira a acompanhar o consumo dos cilindros; mesmo assim, o fogueiro tem de alimentar o fogo e manter o nível da água.

Como construir



O verdugo no bordo interior de cada roda mantém o rodado entre os carris.

As locomotivas a sério constroem-se em oficinas ferroviárias. Os caldeireiros curvam chapas de ferro ou de aço, rebitam-nas para formar o corpo cilíndrico e a fornalha e fixam os tubos nas placas tubulares de cada ponta. Antes de poder ser acesa, a caldeira é ensaiada com água a uma pressão superior à de serviço, fixada pelas regras aplicáveis, e inspecionada por um técnico independente. Os fundidores vazam os cilindros, os mecânicos mandrilam-nos e montam êmbolos e gavetas, e as rodas recebem aros de ferro colocados a quente. Os caminhos de ferro históricos que hoje restauram locomotivas estão sujeitos a ensaios e inspeções semelhantes.

Uma maqueta sem vapor mostra como as rodas são movidas.

Cortar a roda. Serre em contraplacado um disco com cerca de 20 cm de diâmetro. Cole com firmeza no centro uma cavilha de madeira que servirá de eixo, e faça um segundo furo a 5 cm do centro para o moente, uma cavilha curta colada. Aparafuse numa tábua dois tacos verticais furados para receber o eixo com folga, de modo que a roda gire livremente entre eles.

Fazer o cilindro. Cole um tubo de cartão ou de plástico com cerca de 15 cm sobre um taco de madeira aparafusado na tábua ao lado da roda, de modo que o tubo fique no plano da roda, com o eixo à altura do eixo da roda e apontado para o seu centro. Uma cavilha que deslize livremente lá dentro serve de haste do êmbolo.

Ligar as peças. Corte uma ripa fina com cerca de 25 cm para a biela. Fure uma ponta à medida do moente e articule a outra na ponta da haste com um prego pequeno. Confirme que a roda consegue dar uma volta inteira sem a biela bater no tubo.

Pôr a girar. Empurre e puxe a haste: a roda dá uma volta por cada 10 cm de ida e 10 cm de volta. Repare nos dois pontos mortos, em que o moente, o eixo e a ponta da haste ficam em linha reta e empurrar não serve de nada. Nas locomotivas verdadeiras de dois cilindros, as manivelas dos dois lados estão desfasadas um quarto de volta, de modo que uma está sempre fora do seu ponto morto.

> **Segurança.** Nunca aqueça água num recipiente fechado nem tente fazer uma caldeira: o vapor sob pressão pode rebentar um recipiente e queimar gravemente. Os modelos a vapor vivo só devem funcionar a partir de kits comerciais com caldeiras ensaiadas e válvulas de segurança em bom estado, sob vigilância de um adulto. Mantenha os dedos longe da manivela quando a roda gira.

História e evolução

Richard Trevithick, engenheiro da Cornualha, construiu para as forjas de Penydarren, em Merthyr Tydfil, a primeira locomotiva a andar sobre carris. A 21 de fevereiro de 1804 puxou dez toneladas longas de ferro, cerca de 10 toneladas métricas, em cinco vagões, com setenta homens em cima, pela via de carris que levava ao canal de Abercynon, cerca de 14 km, a quase 8 km/h segundo o seu próprio relato. No regresso partiu-se um parafuso e a caldeira começou a perder; a máquina só voltou no dia seguinte. Era pesada demais para as placas de ferro fundido da via, que se partiam debaixo dela, e acabou como máquina fixa a acionar um martelo de forja.

Na via de Penydarren, placas curtas de ferro fundido pregadas a blocos de pedra guiavam rodas sem verdugo, e partiram-se sob o peso da locomotiva.

Em outubro de 1829, o caminho de ferro de Liverpool a Manchester organizou em Rainhill umas provas para escolher as suas locomotivas. Apresentaram-se cinco máquinas e só a Rocket as concluiu. Nas corridas de prova fez médias de 19 a 23 km/h, conforme a maneira de as calcular; sem carga atingiu cerca de 48 km/h. Ganhou o prémio de 500 libras e a encomenda das locomotivas da linha. Na inauguração da linha, em 1830, a Rocket atropelou o deputado William Huskisson, que morreu dos ferimentos. Profundamente reconstruída em menos de dezoito meses, foi posta de parte antes de dez anos. Os seus restos entraram em 1862 no museu do Gabinete de Patentes de Londres e fazem hoje parte da coleção do Science Museum Group.

As locomotivas seguintes ficaram muito maiores, com mais rodas acopladas para suportar o peso e puxar comboios pesados, e com pressões mais altas. A 3 de julho de 1938, a Mallard da London and North Eastern Railway atingiu 203 km/h numa descida a sul de Grantham, que continua a ser o recorde da tração a vapor. Foi retirada em 1963, quando o diesel e a eletricidade tomaram o lugar do vapor.

Números-chave

Primeiro percurso sobre carris

21 de fevereiro de 1804, forjas de Penydarren, Merthyr Tydfil: dez toneladas longas de ferro (cerca de 10 t) e 70 homens

Caldeira da Rocket

25 tubos de cobre, cerca de 3,4 bar acima da pressão atmosférica

Provas de Rainhill, outubro de 1829

A Rocket fez médias de 19 a 23 km/h nas provas e atingiu cerca de 48 km/h sem carga

Recorde de velocidade a vapor

Mallard, 3 de julho de 1938: 203 km/h

Fontes

1. Rocket locomotive (object 1862-5) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co26704
2. Richard Trevithick’s steam locomotive · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/blog/1012
3. London & North Eastern Railway steam locomotive 'Mallard' · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co205732
4. Rocket's engineering excellence · Science and Industry Museum https://blog.scienceandindustrymuseum.org.uk/rocket-engineering-excellence/
5. Stephenson's Rocket · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket
6. Penydarren tramplate · Amgueddfa Cymru – Museum Wales https://museum.wales/collections/online/object/11d39d27-d867-308a-b20a-9398afef1c6e
7. The Penydarren Tramroad · Industrial Railway Society, Industrial Railway Record https://shop.irsociety.co.uk/Archives/59/Penydarren.htm
8. Rocket · steamlocomotives.org https://www.steamlocomotives.org/locomotives/rocket
9. Rocket 0-2-2 Liverpool & Manchester Railway · Preserved British Steam Locomotives https://preservedbritishsteamlocomotives.com/rocket-0-2-2-liverpool-manchester-railway/

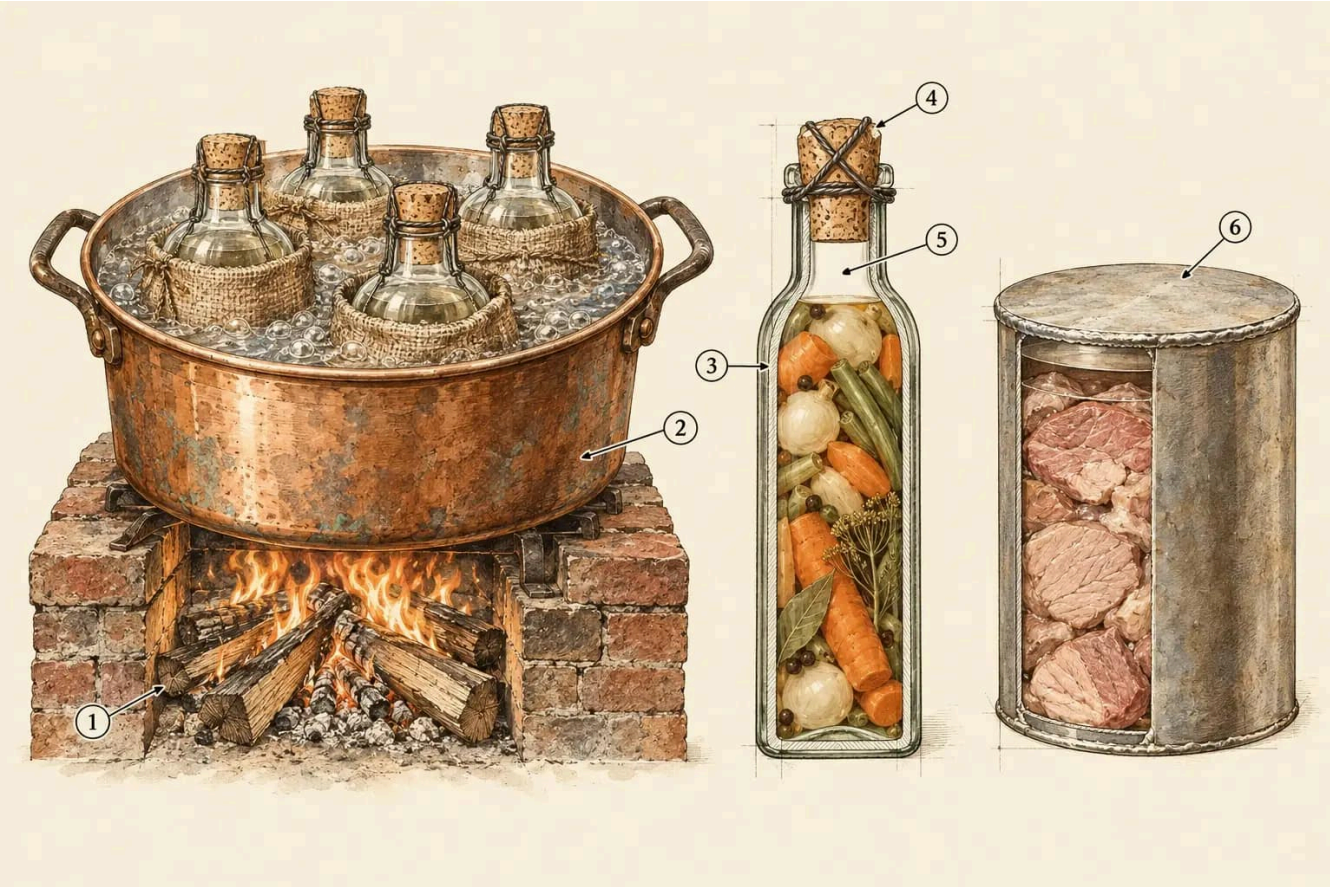
Factos verificados em 2026-10-12

Conservas e pasteurização

Fechar, aquecer e manter os micróbios fora

1810 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Vidro (p. 132), Metalurgia do ferro (p. 136), Domínio do fogo (p. 9)



1 Fogo de lenha 2 Caldeirão de cobre com água a ferver 3 Garrafa de vidro cheia de legumes 4 Rolha de cortiça atada com arame 5 Espaço livre deixado sob a rolha 6 Tampa soldada de uma lata de folha-de-flandres

A conserva fecha o alimento num frasco ou numa lata e aquece-o o suficiente para matar os micróbios que o estragariam; a tampa fechada impede a entrada de outros. Nicolas Appert publicou o método em 1810, Louis Pasteur explicou-o meio século depois, e o seu tratamento mais suave, a pasteurização, tornou o leite, o vinho e a cerveja mais seguros.

O que é

O sal e a secagem conservam os alimentos tirando a água aos micróbios. A conserva mata-os: o alimento é fechado num frasco ou numa lata e aquecido o tempo suficiente para destruir os micróbios que o poderiam estragar ou fazer adoecer quem o come. Enquanto o fecho aguentar, não entram germes novos, e o conteúdo dura meses sem frio.

A estampa mostra o método que Nicolas Appert publicou em 1810, garrafas rolhadas mergulhadas em água a ferver, ao lado da lata de folha-de-flandres soldada que a Inglaterra adotou pouco depois. A pasteurização,

parente mais suave, aquece o leite, o vinho ou a cerveja abaixo do ponto de ebulição. Mata a maior parte dos germes que causam doenças, não todos os micróbios, e por isso o leite pasteurizado precisa de frigorífico.

Como funciona

A 100 °C, as células ativas de bactérias, leveduras e bolores morrem em poucos minutos. Enquanto o frasco está quente, o ar sai por baixo da tampa. Ao arrefecer, o conteúdo contrai-se, o vapor do espaço livre condensa e o vácuo prende a tampa ao rebordo.

O mais difícil de vencer é Clostridium botulinum. O seu esporo resiste à fervura, e há esporos na maioria dos legumes frescos. Ao ar livre ficam inativos; num frasco fechado com um alimento húmido e pouco ácido, à temperatura ambiente, germinam e produzem a toxina botulínica, uma das substâncias mais venenosas que se conhecem, muitas vezes sem qualquer sinal visível.

Os esporos não crescem com pH de 4,6 ou menos, por isso a maior parte da fruta, as compotas, os pickles e o tomate ou os figos com ácido acrescentado ficam seguros depois de um banho-maria a ferver, que mata as leveduras e os bolores que os estragariam. Legumes, carne e peixe são menos ácidos. Os seus esporos têm de ser destruídos a 116–121 °C, e a água só chega a essa temperatura sob pressão, numa panela de conservas a cerca de 0,7 a 1 bar acima da pressão atmosférica, que funciona como um autoclave de cozinha. Cada alimento, forma de enchimento e tamanho de frasco tem aí o seu tempo testado; a 100 °C seriam precisas horas para o mesmo efeito, e nenhuma receita testada trata estes alimentos em banho-maria.

A panela de conservas sob pressão retém o vapor, e os frascos chegam a 116–121 °C em vez de 100 °C.

Os tempos são medidos com termómetros colocados no ponto que aquece mais devagar em cada frasco e em cada alimento. Em altitude a água ferve abaixo de 100 °C, e as tabelas acrescentam tempo ou pressão.

A pasteurização usa temperaturas mais baixas. As centrais leiteiras costumam aquecer o leite a 72 °C durante 15 segundos, ou a 63 °C durante 30 minutos, e depois arrefecê-lo. Assim morrem as bactérias ativas da tuberculose, da salmonelose e de outras doenças que o leite transmitia. Os esporos e alguns micróbios inofensivos sobrevivem, e o leite azeda em poucos dias fora do frigorífico.

Como fazer

Siga apenas orientações oficiais testadas: o guia do USDA e o National Center for Home Food Preservation nos Estados Unidos, a Health Canada, ou a autoridade de segurança alimentar do seu país. Os passos seguintes dizem respeito apenas ao banho-maria a ferver, para alimentos ácidos.

Escolher uma receita testada. Segui-la à letra: tamanho do frasco, espaço livre, ácido acrescentado (sumo de limão engarrafado ou ácido cítrico no tomate), tempo e correção de altitude. Juntar cebola ou pimento ao tomate pode torná-lo perigoso.

Reunir o material. Uma panela alta com tampa e grelha, frascos de conserva com o rebordo intacto, tampas novas de duas peças (uma tampa plana com vedante, presa por um aro de rosca) e uma pinça para frascos. Lavar tudo com água quente e detergente. Se o tempo de tratamento for inferior a 10 minutos, esterilizar antes os frascos vazios, fervendo-os 10 minutos, mais um minuto por cada 300 m de altitude acima dos 300 m.

A tampa plana com vedante serve uma só vez; o aro de rosca dura anos.

Encher e fechar. Deixar o espaço livre indicado, tirar as bolhas de ar, limpar o rebordo e enroscar o aro sem forçar, para o ar poder sair.

Tratar pelo calor. Pôr os frascos na grelha em água quente, cobertos por pelo menos 2,5 cm de água (5 cm se o tempo passar de 30 minutos). Só começar a contar com fervura forte; se a fervura parar, voltar a contar do zero. No fim, desligar o lume, destapar e esperar cinco minutos.

Arrefecer e verificar. Tirar os frascos direitos e deixá-los repousar 12 a 24 horas. Retirar os aros e carregar em cada tampa: bem vedada, está côncava ao centro e não cede. Guardar no frigorífico um frasco mal vedado e consumi-lo em poucos dias.

Guardar e vigiar. Manter os frascos datados num sítio fresco, escuro e seco. Antes de abrir, procurar tampas abauladas ou soltas, fugas, espuma, turvação, bolor ou cheiro estranho.

> **Segurança.** O botulismo é raro mas pode matar. Nunca trate legumes, carne, peixe, aves ou pratos que os contenham em banho-maria, no forno ou em panela aberta, a não ser que uma receita de pickles testada os tenha acidificado: de outro modo, precisam de uma panela de conservas sob pressão e de um processo sob pressão testado. Para o leite e os laticínios não existe nenhum método caseiro testado: nunca os conserve. Nunca encurte um tempo nem reduza o ácido. Nunca prove um frasco suspeito: a toxina não se vê, não cheira e não sabe a nada. Na dúvida, deite fora. Visão turva ou dupla, pálpebras descaídas, fala arrastada, dificuldade em engolir ou fraqueza que se espalha depois de comer uma conserva são uma emergência: ligue já para o número de emergência local (112 em Portugal, 192 no Brasil). A água a ferver e os frascos quentes queimam; use a pinça.

História e evolução

Appert, confeiteiro em Paris, começou as suas experiências na década de 1790, quando a França em guerra precisava de mantimentos duradouros. A 30 de janeiro de 1810, o Estado concedeu-lhe 12 000 francos com a condição de publicar o processo, e o seu livro saiu nesse mesmo ano. Nunca soube porque é que o método funcionava.

Nesse mesmo ano, Peter Durand obteve uma patente britânica que incluía latas de folha-de-flandres, chapa de ferro estanhada. Bryan Donkin e John Hall compraram-na e abriram uma fábrica de conservas em 1812, onde cada lata era soldada à mão. A partir de 1813 abasteciam o exército e a marinha britânicos. Em 1981, a equipa de Owen Beattie sugeriu que o chumbo de latas mal soldadas tinha enfraquecido a expedição ártica perdida de John Franklin, que partiu em 1845; estudos de ossos de 2013 e 2018 mostraram que boa parte desse chumbo fora absorvida antes da viagem e os resultados de 2018 não sustentam que tenha sido uma causa decisiva.

As primeiras latas abriam-se com martelo e escopro; o abre-latas só chegou décadas depois.

Louis Pasteur demonstrou nas décadas de 1850 e 1860 que micróbios vivos causam a fermentação e a decomposição, e em 1865 patenteou o aquecimento do vinho para o impedir de se estragar. A pasteurização do leite foi proposta em 1886. O leite transmitia então tuberculose, escarlatina e diarreia infantil, mas o historiador Peter Atkins verificou que na Grã-

Bretanha o método se difundiu devagar e pouco pesou antes dos anos 1920; em 1921, cerca de metade do leite de Londres era tratado pelo calor.

As fábricas de conservas adotaram autoclaves a vapor em meados do século XIX. Nos anos 1890 surgiram máquinas que fechavam as latas sem solda, no início do século XX espalhou-se a lata «sanitária» cravada e, por volta de 1900, os tempos passaram a ser fixados pela bacteriologia. A partir dos anos 1980, a soldadura elétrica foi substituindo a costura lateral soldada a estanho.

Números-chave

Prémio de Appert
12 000 francos do Estado francês, a 30 de janeiro de 1810, com a condição de publicar o método

Alimentos pouco ácidos
116–121 °C, só atingidos sob pressão

Botulismo
Sintomas em geral 12–36 horas depois da refeição; mortal em 5–10 % dos casos

Limite de acidez para o banho-maria
pH de 4,6 ou menos

Pasteurização do leite
72 °C durante 15 segundos, ou 63 °C durante 30 minutos

Fontes

1. Ensuring Safe Canned Foods · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/ensuring-safe-canned-foods/
2. How to Use Boiling Water and Pressure Canners · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-canners/
3. Recommended Jars and Lids · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/recommended-jars-and-lids/
4. Cooling Jars and Testing Jar Seals · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/cooling-jars-and-testing-jar-seals/
5. Selecting the Correct Processing Time · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/selecting-the-correct-processing-time/
6. Sterilization of Empty Jars · National Center for Home Food Preservation, University of Georgia https://nchfp.uga.edu/how/can/general-information/sterilization-of-empty-jars/
7. Preventing Botulism · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/botulism/prevention.html
8. Home canning safety · Health Canada https://www.canada.ca/en/health-canada/services/general-food-safety-tips/home-canning-safety.html
9. Canning Controversies: No to Home Canning Dairy Products · Clemson Cooperative Extension, Home & Garden Information Center https://hgic.clemson.edu/canning-controversies/
10. Botulism (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/botulism
11. Nicolas Appert · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Nicolas_Appert
12. Nicolas Appert · Encyclopedia.com (World of Invention; Encyclopedia of Food and Culture) https://www.encyclopedia.com/people/food-and-drink/food-and-cooking-biographies/nicolas-appert
13. 30 janvier 1810 : Nicolas Appert, inventeur de la conserve · Hérodote.net https://www.herodote.net/30_janvier_1810-evenement-18100130.php
14. Scientist of the Day: Bryan Donkin · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/bryan-donkin/
15. Food processing: canning (Technology in Australia 1788–1988) · Australian Science and Technology Heritage Centre, University of Melbourne https://austehc.unimelb.edu.au/tia/084.html
16. Louis Pasteur : un héritage universel · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/dossiers/louis-pasteur-heritage-universel
17. White Poison? The Social Consequences of Milk Consumption, 1850–1930 (Atkins, 1992) · Social History of Medicine 5, Durham University https://pjatkins.webspace.durham.ac.uk/wp-content/uploads/sites/201/2022/07/White-Poison-1992.pdf
18. Raw Milk Misconceptions and the Danger of Raw Milk Consumption · U.S. Food and Drug Administration https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/raw-milk-misconceptions-and-danger-raw-milk-consumption
19. Western researchers acquit tins in expedition's fate · Western News, Western University https://news.westernu.ca/2013/04/western-researchers-acquit-tins-in-expeditions-fate/
20. Researchers provide new insights into fate of Franklin Expedition · University of Saskatchewan https://news.usask.ca/articles/research/2018/researchers-provide-new-insights-into-fate-of-franklin-expedition-.php

Factos verificados em 2026-10-14

Bicicleta

Duas rodas movidas pelas pernas

1817 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Roda e eixo (p. 81), Metalurgia do ferro (p. 136)

1 Guiador 2 Caixa de direção e forqueta 3 Selim 4 Pedaleiro e prato 5 Corrente 6 Carreto traseiro 7 Pneu

A bicicleta é uma máquina de duas rodas que o ciclista equilibra com o guiador e move com as pernas, através de pedais, de uma corrente e de um carreto na roda traseira. Nasceu da máquina de correr de madeira de Karl Drais, em 1817, e em 1885 ganhou a forma da bicicleta de segurança com corrente que, com pneus de ar, permite percorrer uma distância com uma pequena parte da energia que custaria a pé.

O que é

Uma bicicleta transporta uma pessoa sobre duas rodas colocadas uma atrás da outra. O ciclista senta-se num selim, mantém a máquina de pé virando o guiador e faz girar a roda traseira com as pernas, através de pedais, pedivelas e uma corrente. Não tem motor, e a manutenção corrente só pede algumas ferramentas de mão.

A gravura mostra uma bicicleta de segurança da década de 1890, a disposição de que descendem quase todas as bicicletas atuais: duas rodas do mesmo tamanho, um quadro de tubos de aço em forma de dois triângulos e pneus cheios de ar.

Como funciona

O equilíbrio vem da direção. Quando a bicicleta começa a inclinar-se, o ciclista vira ligeiramente a roda da frente para o lado da inclinação e as rodas voltam a ficar debaixo do seu peso. A passo de peão, estas correções têm de ser maiores, e é por isso que uma bicicleta lenta oscila.

Os pedais fazem girar duas pedivelas fixadas em sentidos opostos num eixo que atravessa a parte de baixo do quadro. Um grande prato dentado, preso à pedivela direita, puxa uma corrente de rolos, que faz girar um pequeno carreto no cubo traseiro. Com 44 dentes à frente e 18 atrás, cada volta dos pedais faz a roda dar cerca de 2,4 voltas, e uma roda de 70 cm de diâmetro avança assim uns 5,4 m. As máquinas mais antigas, com os pedais no cubo da frente, não tinham esta multiplicação: para ir mais longe em cada pedalada, era preciso uma roda maior.

Uma corrente limpa e lubrificada transmite à roda quase todo o trabalho das pernas, até cerca de 99% em ensaios de laboratório. Em terreno plano, acima de uns 30 km/h, três quartos ou mais do esforço servem para afastar o ar. Com o mesmo esforço, um ciclista anda cerca de três vezes mais depressa do que quem caminha, e por isso uma dada distância custa-lhe muito menos energia: segundo as estimativas, entre um terço e um quinto da que é precisa a pé.

Um pneu de ar cede à volta de uma pedra em vez de levantar a máquina inteira por cima dela. Numa estrada má, rola por isso com mais suavidade e desperdiça menos esforço do que os pneus de borracha maciça usados antes. Raios finos de arame, sob tensão, mantêm redondo e rígido um aro leve de aço.

O pneu da década de 1890: uma câmara de ar cheia dentro de um invólucro de borracha e lona.

Como construir

A máquina de correr de 1817 não tinha pedais: avançava-se empurrando o chão com um pé e depois com o outro, e travava-se puxando um cordão que atuava na roda traseira.

A máquina de Drais era trabalho de carpinteiro e de segeiro: uma viga de freixo, duas rodas de madeira com aros de ferro, uma forqueta dianteira que rodava sobre um pino de ferro, um selim almofadado, uma tábua para os antebraços e um travão traseiro puxado por um cordão. Para experimentar hoje a mesma maneira de andar, o mais seguro é transformar uma bicicleta pequena em bom estado numa bicicleta sem pedais: o quadro, as rodas e os travões continuam a ser os originais.

Escolher a bicicleta. Tem de ser pequena o bastante para que o ciclista, com o selim no ponto mais baixo, assente os dois pés no chão com os joelhos ligeiramente dobrados, e tem de ter dois travões de mão, à frente e atrás: um travão de contrapedal deixa de funcionar assim que se tira a corrente. Verifique que o quadro não tem fissuras, que as rodas giram direitas e que os dois travões funcionam.

Tirar a transmissão. Desmonte os dois pedais com uma chave de pedais; o esquerdo tem rosca invertida e desaperta no sentido dos ponteiros do relógio. Para tirar a corrente, abra o elo rápido ou empurre um pino para fora com um saca-elos, ou peça-o numa oficina de bicicletas. Se tiver um extrator de pedaleiro, retire também as pedivelas e o prato, para que nada se possa prender nas pernas.

Acertar o selim. Baixe o selim até os dois pés assentarem no chão, mantendo a marca de inserção mínima do espigão sempre escondida dentro do quadro, e aperte bem a braçadeira.

Testar os travões. Aperte cada manete enquanto empurra a bicicleta para a frente: a roda tem de parar. Se não parar, afine o travão ou mande-o afinar numa oficina de bicicletas antes de alguém andar.

Aprender a deslizar. Num caminho plano e sossegado, ande primeiro a pé com a bicicleta entre as pernas; depois dê impulso com um pé e com o outro, levante os dois para pequenos deslizes e trave para parar.

> **Segurança.** Use capacete e ande longe do trânsito. Antes de cada saída, verifique os travões, as porcas das rodas ou os apertos rápidos e a braçadeira do selim. Mantenha os dedos longe dos raios em movimento e dos dentes do prato, se ainda estiver montado, e não desça nenhuma encosta antes de saber parar com segurança.

História e evolução

Karl Drais, funcionário da administração florestal de Baden, saiu de Mannheim na sua Laufmaschine a 12 de junho de 1817. Os relatos desse passeio falam de 13 a 15 km em cerca de uma hora; um percurso cronometrado de 12,5 km deu uma média de mais de 12 km/h, mais do dobro do passo de um caminhante. A máquina foi vendida em França a partir de 1818 com o nome de vélocipède e copiada na Grã-Bretanha como hobby horse. Um exemplar conservado pesa 23 kg; as máquinas que chegaram até nós têm um travão traseiro acionado por um cordão. As estradas eram más, e passou de moda em poucos anos.

Na década de 1860, em Paris, foram fixados pedivelas e pedais à roda da frente. Ainda se discute se a ideia foi do construtor de carruagens Pierre Lallement ou da oficina de Pierre Michaux. Lallement levou-a para os Estados Unidos, onde obteve uma patente a 20 de novembro de 1866; as máquinas de Michaux lançaram em França, no fim da década, a primeira febre do velocípede. As rodas de madeira com aro de ferro valeram-lhes em inglês a alcunha de boneshakers, «abana-ossos». Na década de 1870, os raios de arame e os pneus de borracha maciça tornaram as rodas mais leves, e a da frente cresceu até onde as pernas do ciclista chegavam. Estes biciclos eram rápidos, mas perante um obstáculo o ciclista podia ser projetado de cabeça por cima do guiador.

No biciclo da década de 1870, os pedais faziam girar diretamente a roda da frente, por isso a velocidade dependia do tamanho dessa roda.

A bicicleta de segurança resolveu o problema pondo o ciclista em baixo, entre duas rodas pequenas, e fazendo girar a traseira com uma corrente. Em 1885, John Kemp Starley construiu a Rover em Coventry; o exemplar guardado em Londres pesa 16,8 kg e ainda tem pneus maciços. Em 1887 ou 1888 (as fontes divergem), John Boyd Dunlop, veterinário em Belfast, fez pneus de ar para o triciclo do filho e patenteou-os a 7 de dezembro de 1888. A patente foi depois anulada, porque Robert William Thomson tinha patenteado a mesma ideia na década de 1840, mas os pneus de Dunlop começaram a ser fabricados em Belfast no fim de 1890. Em poucos anos, o quadro em losango e o pneu de ar tornaram-se a norma, e a bicicleta de segurança passou a ser usada tanto por mulheres como por homens. A roda livre, as mudanças e travões melhores vieram mais tarde, sem alterar a disposição.

Números-chave

Primeiro passeio em máquina de correr

12 de junho de 1817, a partir de Mannheim: 13 a 15 km em cerca de uma hora (os relatos divergem)

Patente do pneu de Dunlop

7 de dezembro de 1888 (anulada depois: R. W. Thomson tinha patenteado a ideia na década de 1840)

Rendimento da corrente

Até cerca de 99% com uma corrente limpa e lubrificada

Bicicleta de segurança Rover

1885, Coventry; 16,8 kg, transmissão por corrente, pneus de borracha maciça

Energia em comparação com andar a pé

Entre um terço e um quinto para a mesma distância (as estimativas variam)

Fontes

1. Draisienne · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/draisienne/
2. Rover 'Safety' Bicycle, 1885 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co25833/rover-safety-bicycle-1885
3. J. B. Dunlop · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/J._B._Dunlop
4. Pierre Lallement and the Modern-Day Pedal Bicycle · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/pierre-lallement-and-the-modern-day-pedal-bicycle-today-in-history-november-20
5. Bicycle performance · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_performance
6. Laufmaschine (draisine) by Karl Drais · Klassik Stiftung Weimar https://www.klassik-stiftung.de/startseite/digital/sammlungshighlights/laufmaschine/
7. Gain Ratios · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gain.html
8. Glossary: Chain · Sheldon Brown https://www.sheldonbrown.com/gloss_ch.html
9. H. Renold · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/H._Renold
10. Roller chain sprocket diameters · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hardware/roller_chain_sprocket_diameters_13887.htm

Factos verificados em 2026-10-12

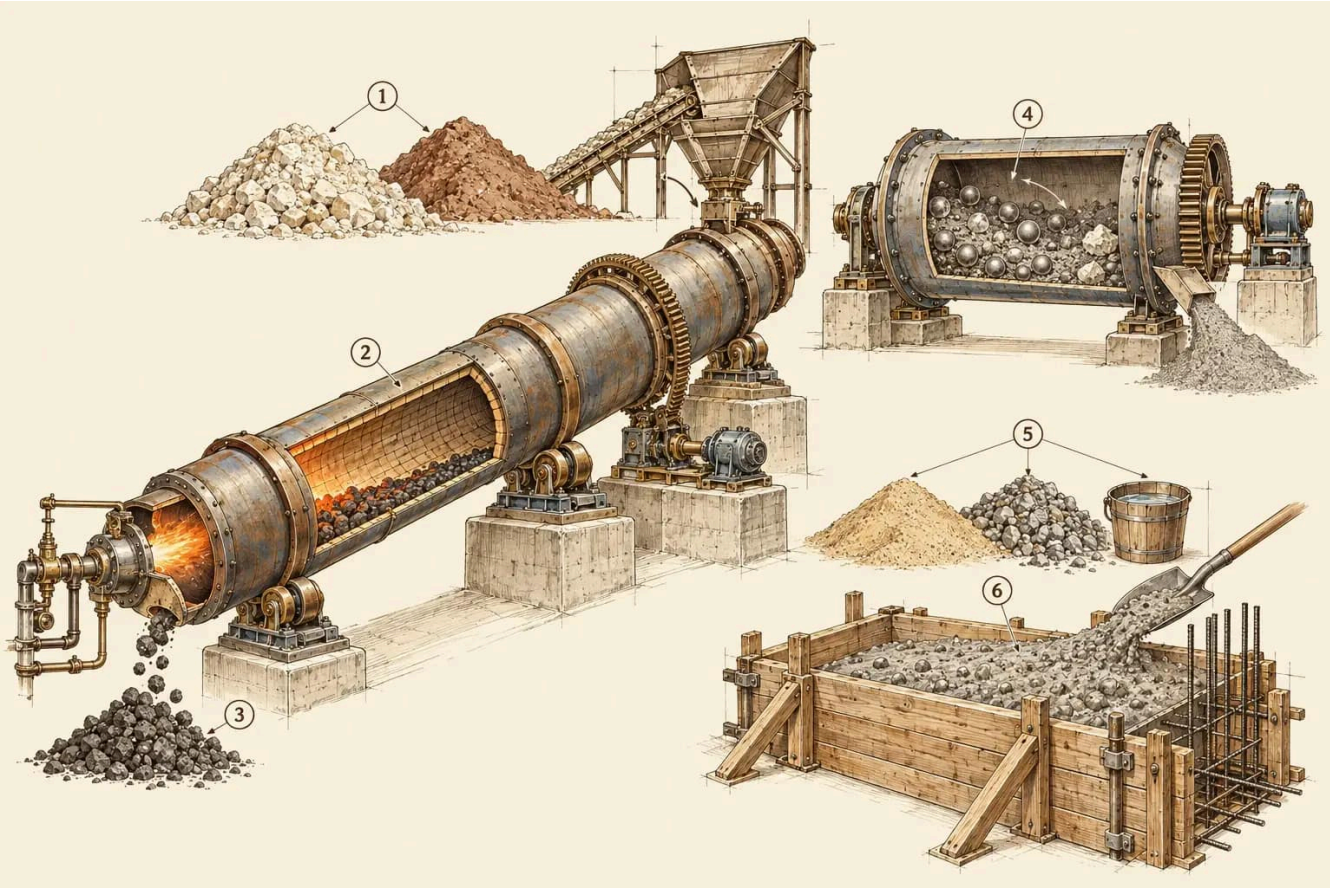
Cimento Portland

O ligante que endurece debaixo de água

1824 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Cal e argamassa de cal (p. 31), Betão romano (p. 165), Medidas e padrões (p. 127)

Conduz a: Betão armado (p. 308)



1 Calcário e argila britados 2 Forno rotativo, chama na extremidade baixa 3 Nódulos de clínquer
4 Moinho: clínquer com um pouco de gesso 5 Areia, brita e água para a mistura 6 Cofragem de madeira com betão fresco

O cimento Portland é calcário e argila cozidos em conjunto a cerca de 1450 °C até formarem nódulos duros, o clínquer, depois moídos com um pouco de gesso. Com água endurece por reação química, mesmo submerso, e ligado a areia e brita dá o betão, o material de construção mais usado no mundo.

O que é

O cimento Portland é um pó cinzento: calcário e argila cozidos até fundirem em parte em torrões duros, o clínquer, que depois se mói com um pouco de gesso. Com água forma uma pasta que ganha presa em poucas horas e continua a endurecer durante semanas.

É um ligante hidráulico: endurece ao reagir com a água, numa vala húmida como debaixo do mar. A argamassa de cal aérea, pelo contrário, endurece devagar por carbonatação, em contacto com o ar. O betão romano resistia à água graças à pozolana, uma cinza vulcânica cuja sílica reage com a cal apagada. No cimento Portland, a cal e a sílica da argila já se combinaram no forno: o pó só precisa de água, e fica muito mais resistente.

Misturado com areia e brita dá o betão: estes agregados ocupam a maior parte do volume e o cimento cola-os uns aos outros.

Como funciona

A cozedura. O cru tem em geral cerca de quatro quintos de calcário, com argila ou xisto que trazem sílica, alumina e óxido de ferro. No forno, o calcário perde o dióxido de carbono e torna-se cal viva, que depois se combina com os minerais da argila. Perto dos 1450 °C, parte da carga funde e o resto sinteriza em nódulos escuros. Um clínquer típico contém cerca de 55 % de alite e 20 % de belite, dois silicatos de cálcio; a alite só se forma com uma cozedura intensa, acima de uns 1300 °C. O clínquer é depois arrefecido depressa.

O clínquer à saída do forno; moído com um pouco de gesso, torna-se cimento.

A moagem. O clínquer é moído muito fino com cerca de 5 % de gesso, que impede o seu aluminato de endurecer a pasta poucos minutos depois da amassadura.

A presa. Na água, a alite e a belite formam silicatos de cálcio hidratados, um gel pouco cristalino que cresce a partir de cada grão e os liga uns aos outros, libertando hidróxido de cálcio e calor. A alite dá a resistência dos primeiros dias; a belite, a que vem depois da primeira semana.

Água e resistência. A água em excesso deixa poros, e os poros enfraquecem o betão. Em 1918, Duff Abrams, no Lewis Institute de Chicago, mostrou que a resistência depende sobretudo da razão entre água e cimento; a maioria das misturas fica entre 0,4 e 0,6 em massa. Um betão que seca cedo demais deixa de reagir; em alguns ensaios só atingiu cerca de metade da resistência de um betão mantido húmido.

Como construir

O clínquer exige um forno industrial, mas o cimento em saco, dentro do prazo de validade, pode ser amassado à mão sobre uma tábua para a sapata de um poste ou uma pequena laje de jardim. Tudo o que suporte um edifício ou um veículo precisa do projeto de um engenheiro.

A cofragem. Para uma laje, escave até ao solo firme, compacte uma camada de tout-venant e coloque tábuas de cutelo à volta, presas por estacas do lado de fora, com o bordo superior nivelado e a face interior oleada. Para uma sapata, o próprio buraco serve de molde.

A água vai para uma cratera aberta na mistura seca, e a pá puxa as bordas para o centro.

Misturar a seco e juntar pouca água. Uma regra comum é um balde de cimento para dois de areia para betão e três de brita lavada até 20 mm. Revolva o monte seco até ficar de um cinzento uniforme, deite água numa cratera e vá puxando para dentro dela, com a pá, a mistura seca das bordas, aos poucos. Uma razão de 0,5 corresponde a cerca de 12,5 litros por saco de 25 kg, contando a água que a areia húmida já traz. Pare quando a mistura estiver molhada por igual e mole o bastante para encher a cofragem e ser compactada, mas ainda mantiver a forma na pá: a água a mais torna-a mais fácil de colocar, mas deixa o betão endurecido mais fraco.

Betonar, compactar e manter húmido. Encha a cofragem por camadas, picando cada uma com uma vara e batendo nas tábuas para expulsar o

ar; nivele a superfície com uma régua. Proteja o betão fresco do sol e do vento enquanto trabalha. Quando a superfície já não marcar, mantenha-a húmida debaixo de plástico ou de serapilheira molhada durante pelo menos 7 dias, mais tempo se estiver fresco, e proteja-a da geada.

Testar um cubo. Encha com a mesma amassadura um ou dois moldes oleados de 10 cm de lado interior, em duas camadas picadas com uma vara, e deixe-os curar debaixo da mesma serapilheira molhada que a laje. Um laboratório de ensaios esmaga estes cubos numa prensa aos 7 e aos 28 dias e indica a sua resistência: é assim que se controla o betão em obra. Partir um cubo com uma marreta diz pouco e projeta lascas e pó.

> **Segurança.** O cimento fresco é muito alcalino. Preso contra a pele dentro de uma luva ou de uma bota, pode causar queimaduras químicas graves. Use luvas impermeáveis, mangas compridas, as calças por cima das botas e óculos de proteção. Lave logo a pele suja; se entrar nos olhos, enxague com muita água limpa durante pelo menos 15 minutos e procure assistência médica. O pó irrita os pulmões: esvazie os sacos ao ar livre, de costas para o vento e com máscara FFP3. Cortar betão endurecido levanta pó de sílica: use uma serra com alimentação de água e uma máscara FFP3 com ajuste verificado. Um saco pesa 25 kg: levante-o dobrando os joelhos, ou a dois.

História e evolução

A torre de Smeaton em Eddystone, 1759: pedras em rabo de andorinha numa argamassa que ganha presa em água do mar.

Em 1756, o engenheiro inglês John Smeaton, encarregado de reconstruir o farol de Eddystone ao largo de Plymouth, testou várias cais à procura de uma argamassa que ganhasse presa entre duas marés. As melhores vinham de calcário com argila; ergueu a torre com cal hidráulica e pozolana. Em França, em 1817-1818, Louis Vicat mostrou como a argila permite à cal ganhar presa debaixo de água e fabricou uma cal hidráulica artificial a partir de cré e argila, para uma ponte em Souillac.

A 21 de outubro de 1824, Joseph Aspdin, pedreiro de Leeds, patenteou uma pedra artificial «a que chamo cimento Portland», por causa da pedra clara de Portland, no Dorset. O seu produto estaria provavelmente pouco cozido para contar hoje como cimento Portland. Na década de 1840, o filho William e Isaac Charles Johnson, ambos perto de Londres, cozeram a mistura até ao clínquer, que os fabricantes anteriores deitavam fora por estar requeimado; cada um reivindicou a descoberta. Esta prancha fica com 1824, o ano do nome.

Frederick Ransome patenteou um forno rotativo em 1885. Os seus ensaios em Inglaterra falharam, mas em 1890 um forno deste tipo, aquecido a petróleo, funcionava na Pensilvânia, e estes fornos depressa substituíram os fixos.

Em 2018, segundo a Chatham House, o mundo produzia mais de 4 mil milhões de toneladas de cimento por ano, e esse fabrico emitia cerca de 8 % do CO_2 mundial. Mais de metade vinha do próprio calcário, que liberta o seu dióxido de carbono no forno. Os fabricantes substituem parte do clínquer por escória, cinzas volantes, argila calcinada ou calcário para reduzir essa parte.

Números-chave

Temperatura do forno
Cerca de 1450 °C

Gesso
Cerca de 5 %, moído com o clínquer

Traço comum à mão
1 parte de cimento, 2 de areia, 3 de brita em volume

Razão água/cimento
Em geral 0,4 a 0,6 em massa

Produção mundial
Mais de 4 mil milhões de toneladas por ano, cerca de 8 % das emissões mundiais de CO_2 (2018)

Fontes

1. About cement · Cement Kilns (D. Moore), history of the British cement industry https://www.cementkilns.co.uk/cement.html
2. Aspdin's 1824 patent · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/cemkilndoc008.html
3. Early rotary kilns · Cement Kilns (D. Moore) https://cementkilns.co.uk/early_rotary_kilns.html
4. Hard-Headed Man (M. Rinde, 2015) · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/hard-headed-man/
5. Aberthaw Lime and Cement Works, Rhoose (listing record 83144) · Cadw, via British Listed Buildings https://britishlistedbuildings.co.uk/300083144-aberthaw-lime-and-cement-works-rhoose
6. Louis Vicat · École polytechnique https://225.polytechnique.fr/en/225-stories/louis-vicat.html
7. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
8. Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018 (R. M. Andrew, 2019) · Earth System Science Data https://essd.copernicus.org/articles/11/1675/2019/
9. Composition of cement · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/composition%20of%20cement.htm
10. Curing concrete: normal, hot and cold weather · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/construction/curing/curing.html
11. Water-cement ratio of concrete · Gilson Company https://www.globalgilson.com/blog/water-cement-ratio-of-concrete
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm
14. Cutting paving blocks, kerbs and flags · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cutting-paving-blocks-kerbs-and-flags.htm
15. Cement hydration · MC-Bauchemie, MCpedia https://www.mc-bauchemie.com/mcpedia/cement-hydration

Factos verificados em 2026-10-14

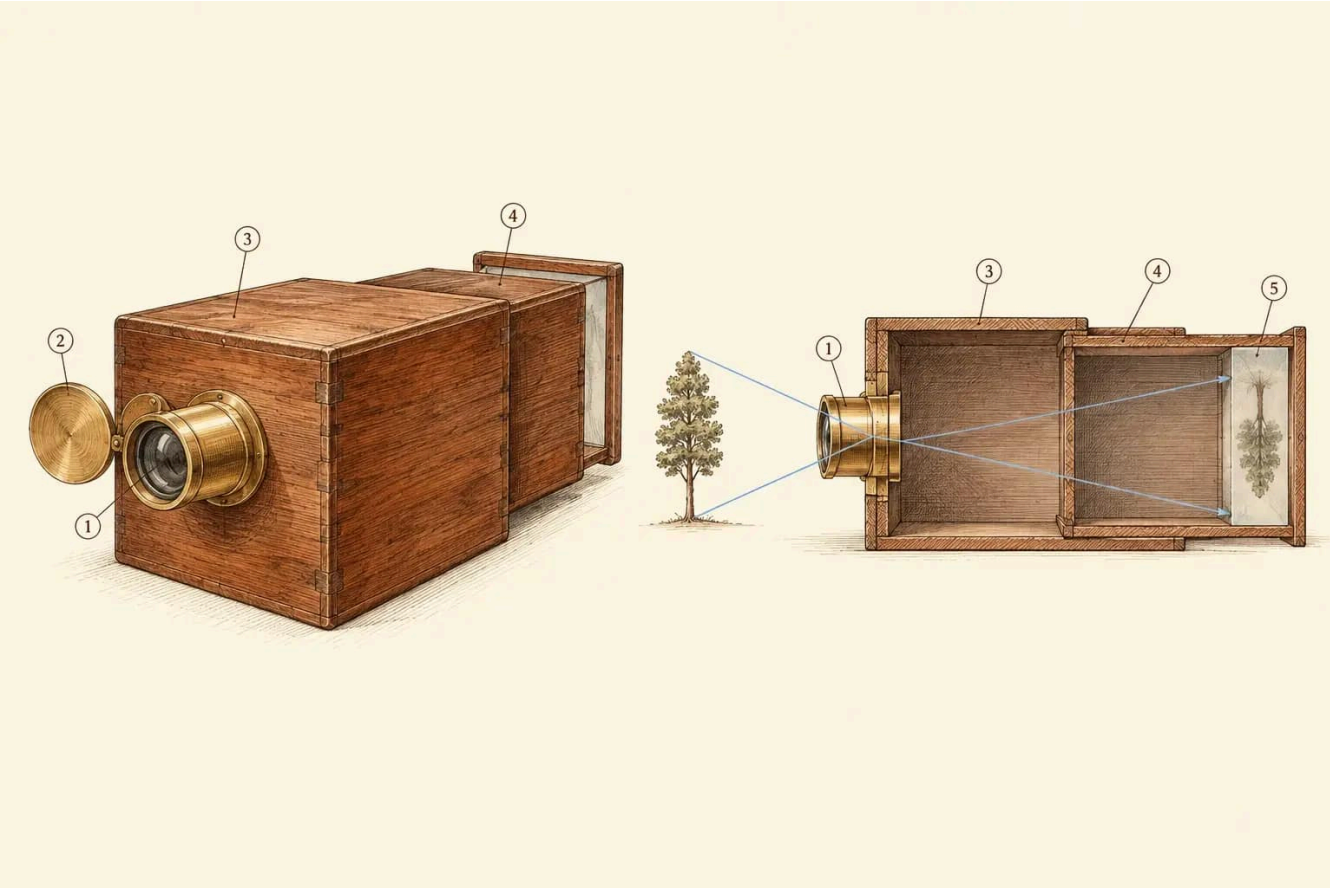
Fotografia

Luz que deixa um rasto

c. 1827 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Vidro (p. 132)

Conduz a: Radiografia (p. 348)



1 Objetiva no seu tubo de latão 2 Tampa giratória de latão 3 Caixa da frente 4 Caixa de trás deslizante 5 Vidro despolido de focagem

A fotografia fixa a imagem formada por uma lente numa superfície que a luz altera quimicamente. Nicéphore Niépce fez em 1826 ou 1827 a mais antiga fotografia tirada com câmara que chegou até nós, e o daguerreótipo, tornado público em Paris em 1839, foi o primeiro processo vendido ao público, com câmaras e placas à venda em poucas semanas.

O que é

A fotografia regista uma imagem feita de luz. Uma objetiva projeta uma pequena imagem da cena numa superfície coberta de uma substância que a luz transforma; depois de tratada, as zonas claras e escuras da cena ficam fixadas nessa superfície de vez. A palavra significa «escrever com luz», e os pioneiros falavam de imagens que se desenhavam sozinhas.

A câmara da prancha é a que Alphonse Giroux começou a vender em Paris em 1839 segundo o projeto de Louis Daguerre, a primeira fabricada em série para o público. São duas caixas de madeira, uma a deslizar dentro da

outra. A da frente tem uma objetiva simples num tubo de latão, com uma tampa redonda de latão que roda para o lado para começar a exposição. Atrás, um vidro despolido mostra a imagem para focar; depois é substituído por um chassis com a placa sensível.

Como funciona

A luz de cada ponto da cena atravessa a objetiva e concentra-se num ponto no fundo da câmara. O resultado é uma cópia pequena, nítida e invertida da cena, a mesma imagem que a câmara escura mostrava desde o Renascimento. Empurrando ou puxando a caixa de trás até a imagem ficar nítida no vidro despolido, faz-se a focagem.

Os desenhadores usavam câmaras escuras portáteis como esta muito antes da fotografia; um espelho manda a imagem para um vidro onde se pode decalcar.

A fotografia precisava de uma maneira de guardar essa imagem. Alguns compostos de prata escurecem com a luz e algumas resinas endurecem com ela. Niépce cobria uma placa de estanho com betume da Judeia dissolvido em essência de alfazema. Onde a luz batia, o betume endurecia; depois um solvente removia as partes que tinham ficado moles e restava uma imagem de betume sobre o metal nu.

O daguerreótipo usava prata. Uma placa de cobre prateada e polida era sensibilizada com vapor de iodo, exposta vários minutos na câmara, revelada sobre mercúrio aquecido, que se depositava nas partes atingidas pela luz, e fixada com água salgada ou com «hipo». O resultado era um positivo espelhado, único e muito pormenorizado. O calótipo de Talbot funcionava de outra maneira: dava um negativo em papel do qual se tiravam por contacto tantas provas positivas quantas se quisesse, o princípio da maior parte da fotografia em película que veio depois.

Como construir

Dois projetos simples mostram em casa as duas metades da fotografia: uma câmara estenopeica forma a imagem e o papel de cianotipia regista quimicamente a luz. Não tente um daguerreótipo fora de um laboratório profissional com hotte de extração e supervisão de pessoas com formação: usa mercúrio aquecido e iodo, ambos tóxicos.

Fazer a câmara. Pegue numa caixa estanque à luz, por exemplo uma caixa de sapatos, e pinte o interior de preto mate. Abra um furo com cerca de 2 cm no centro de uma das pontas e tape-o com um bocado de folha de alumínio fina furada com uma agulha; um furo de cerca de 0,3 mm serve para uma caixa com 10 a 15 cm de fundo. Cubra o orifício com uma aba de cartolina preta que possa subir e descer: é o obturador.

Ver a imagem. Abra uma janela na ponta oposta e cubra-a com papel vegetal. Diante de uma cena bem iluminada, com a cabeça e a caixa debaixo de um pano escuro, verá a imagem invertida no papel, tal como numa câmara escura.

Fazer uma cianotipia. O papel já sensibilizado, vendido como «papel solar» e usado segundo as instruções do fabricante, é o mais simples. A cianotipia, publicada por John Herschel em 1842, usa sais de ferro que ficam azul da Prússia com a luz ultravioleta. Ponha uma folha ou uma fronde de feto sobre o papel, ao sol e debaixo de um vidro, durante alguns minutos, e depois passe o papel por água e deixe-o secar.

Ir mais longe. A cianotipia é demasiado lenta para fotografar através do orifício: a exposição levaria semanas. Para fotografar com a própria caixa, substitua o papel vegetal por um fundo estanque à luz, vede as bordas com

Um fotograma em cianotipia: onde o feto tapava a luz, o papel ficou branco.

fita preta e carregue na câmara escura papel fotográfico ou película a preto e branco. Depois revela-se e fixa-se com os produtos habituais de laboratório, com luvas, boa ventilação e segundo as indicações dos rótulos.

> **Segurança.** Os produtos de cianotipia e os banhos de laboratório irritam a pele, os olhos e as vias respiratórias: use luvas e óculos de proteção, mantenha-os longe de alimentos, crianças e animais, e elimine-os segundo os rótulos. Se preparar a solução de cianotipia, nunca aqueça o ferricianeto de potássio nem o misture com ácidos. Não olhe para o Sol através do orifício nem de outra coisa qualquer. Os processos antigos que usam mercúrio, cianeto ou éter só cabem num laboratório profissional com extração de fumos.

História e evolução

A câmara escura era conhecida muito antes da fotografia, e no século XVIII os desenhadores levavam caixas portáteis para decalcar paisagens. Os químicos sabiam que os sais de prata escurecem com a luz, mas ninguém conseguia travar esse escurecimento. Na sua propriedade de Saint-Loup-de-Varennes, na Borgonha, Nicéphore Niépce obteve em 1816 imagens fugazes com a câmara e, em 1826 ou 1827, a vista da janela do seu gabinete de trabalho, hoje a mais antiga fotografia de câmara conservada, no Harry Ransom Center, em Austin. A sua exposição costuma ser estimada em vários dias, embora alguns relatos falem de cerca de oito horas.

Niépce associou-se a Louis Daguerre em 1829 e morreu em 1833. Daguerre continuou, e a 19 de agosto de 1839 o seu processo foi explicado em pormenor numa sessão conjunta da Académie des sciences e da Académie des beaux-arts; o Estado francês tinha-o comprado e deixou-o livre para todos usarem, exceto em Inglaterra e no País de Gales, onde foi patenteado. Em Inglaterra, Henry Talbot fazia imagens em papel havia vários anos e anunciou o seu primeiro processo nesse mesmo ano; em 1840 concebeu o negativo de calótipo, que tornou público em 1841.

Um daguerreótipo era uma única placa prateada, guardada sob vidro num pequeno estojo com dobradiça.

A partir de 1851, o colódio húmido de Frederick Scott Archer pôs os negativos em vidro, mais nítidos do que o papel e muito mais rápidos do que o daguerreótipo, mas a placa tinha de ser preparada, exposta e revelada em poucos minutos. Na década de 1880 as fábricas vendiam placas secas prontas a usar: George Eastman começou a fabricá-las para venda em 1880 e em 1888 vendeu a primeira Kodak, uma caixa carregada com película para cem fotografias, que se devolvia inteira à fábrica para revelar. A película a cores espalhou-se no século XX, e no fim desse século os sensores eletrónicos começaram a substituir a química; à frente deles, uma objetiva continua a formar a imagem como na caixa de Giroux.

Números-chave

Mais antiga fotografia de câmara conservada
Niépce, Saint-Loup-de-Varennes, 1826 ou 1827; placa de estanho de 16,7 × 20,3 cm

Daguerreótipo tornado público
19 de agosto de 1839, Académie des sciences, Paris

Primeira Kodak
1888, carregada com película para 100 fotografias

A sua exposição
Provavelmente vários dias ao sol (alguns relatos falam de cerca de 8 horas)

Negativo em papel (calótipo)
Concebido por Henry Talbot em 1840, tornado público em 1841

Fontes

1. The Niépce Heliograph · Harry Ransom Center, University of Texas at Austin https://www.hrc.utexas.edu/niepce-heliograph/
2. Daguerre introduced photography 175 years ago · George Eastman Museum https://www.eastman.org/blog/daguerre-introduced-photography-175-years-ago
3. Giroux Daguerreotype camera · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1427511/giroux-daguerreotype-camera-camera-daguerre-louis/
4. Hill & Adamson: salted paper prints and the calotype · University of Glasgow Archives & Special Collections https://www.gla.ac.uk/myglasgow/archivespecialcollections/discover/specialcollectionsa-z/hilladamson/saltedpaperprints
5. Collodion glass negatives and the attendant photographic process · Bibliothèque nationale de France https://expositions.bnf.fr/les-nadar/en/the-nadars/collodion-glass-negatives.html
6. Album of cyanotypes of British and Foreign Ferns (Anna Atkins) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co416960
7. Kodak and the Eastman company · Duke University Libraries https://library.duke.edu/rubenstein/scriptorium/eaa/kodak.html
8. Richard Beard (daguerreotype patent in England and Wales) · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp40983/richard-beard
9. Historique et description des procédés du daguerréotype et du diorama (Daguerre, 1839) · Internet Archive https://archive.org/details/bub_gb_Ae4TAAAAQAAJ
10. History and practice of photogenic drawing on the true principles of the Daguerréotype (McLean, 1839) · Wellcome Collection, via Internet Archive https://archive.org/details/b29310301
11. Replica of Daguerre-Giroux camera · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8189231/replica-of-daguerre-giroux-camera
12. From Daguerreotype to Digital: the daguerreotype process · The Historic New Orleans Collection https://hnoc.org/virtual-exhibitions/from_daguerreotype_to_digital/daguerreotype-process

Factos verificados em 2026-10-12

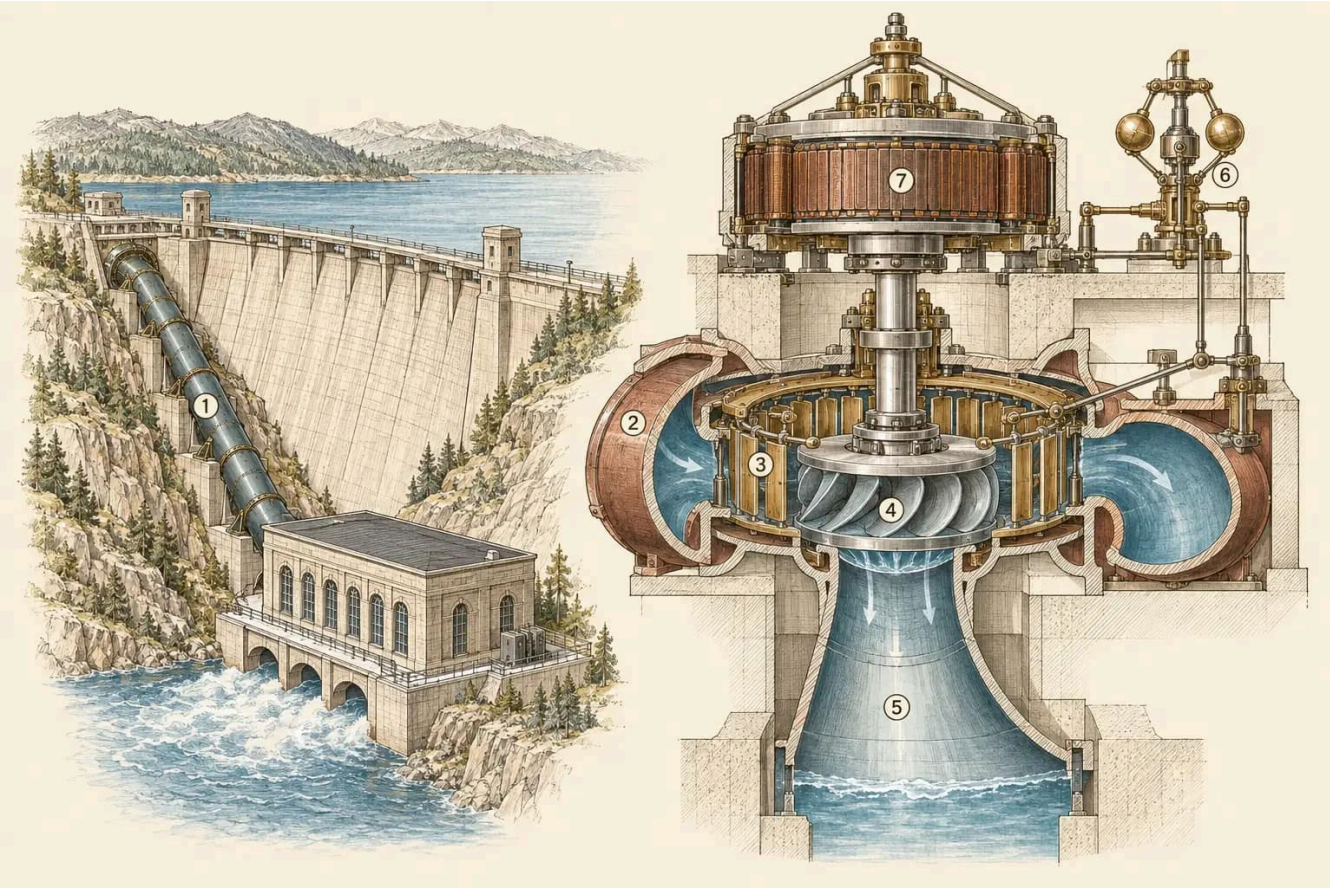
Turbina hidráulica

A queda de água transformada em eletricidade

1827 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Roda hidráulica (p. 157), Aço (p. 140), Gerador elétrico (p. 274)

Conduz a: Alumínio (p. 335)



1 Conduta forçada 2 Caixa espiral 3 Pás diretrizes 4 Rotor 5 Tubo de aspiração 6 Regulador 7 Gerador

Uma turbina hidráulica é um rotor de pás que a água sob pressão faz girar muito depressa, dentro de uma caixa fechada ou sob um jato. Tal como a roda hidráulica, aproveita a energia de uma queda de água, mas numa máquina muito mais pequena e rápida, e desde a década de 1880 move os geradores das centrais hidroelétricas.

O que é

Uma turbina hidráulica é uma roda de pás curvas, o rotor, que a água sob pressão faz girar a grande velocidade. Tal como a roda hidráulica, tira a sua energia da água que cai de uma certa altura. Mas uma roda de alimentação superior gira ao ar livre sob o peso da água dos seus copos, e uma roda de alimentação inferior com o empurrão da corrente, a poucas voltas por minuto. A turbina recebe a água por uma conduta e gira dezenas ou centenas de vezes mais depressa, pelo que uma máquina muito mais pequena dá a mesma potência.

A sua velocidade permite-lhe acionar um gerador elétrico com poucas ou nenhumas engrenagens. Quase todas as centrais hidroelétricas usam um de três modelos: a roda Pelton, a turbina Francis ou a turbina Kaplan.

Como funciona

Numa turbina de ação, um injetor transforma toda a pressão num jato rápido e o rotor gira no ar. Numa turbina de reação, o rotor está fechado e cheio de água; a pressão desce entre as pás, que trabalham como asas curvas.

A roda Pelton é uma turbina de ação para quedas altas e caudais pequenos. Uma aresta divide cada concha, fende o jato e devolve cada metade quase em sentido contrário. A turbina Francis, de reação e a mais comum, cobre as quedas médias, de cerca de 40 a 600 metros. A turbina Kaplan, uma hélice cujas pás rodam no cubo, serve para quedas baixas e grandes caudais, abaixo dos 80 metros, aproximadamente.

A aresta de cada concha corta o jato em dois e devolve as duas metades para trás.

A prancha mostra um grupo Francis. A água desce pela conduta forçada (1) até à caixa espiral (2), que se estreita ao enrolar-se à volta da máquina para que a água entre por igual de todos os lados. As pás diretrizes (3) põem-na a rodar e regulam o caudal. Atravessa o rotor (4) de fora para dentro e sai para baixo pelo tubo de aspiração (5), uma conduta que alarga, a abranda pouco a pouco e recupera parte da energia que ainda leva.

A potência disponível é $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$: massa volúmica da água ρ (cerca de 1000 kg/m^3), gravidade g (9,81 m/s^2), caudal Q em m^3/s, queda útil H em metros e rendimento η. Com 100 metros de queda, 0,2 m^3/s e 85 % para turbina e gerador em conjunto, $P = 1000 \times 9{,}81 \times 0{,}2 \times 100 \times 0{,}85 \approx 167$ kW. Uma grande turbina Francis, sozinha, ultrapassa os 90 %.

O gerador (7) está montado no mesmo veio, e a sua frequência acompanha a velocidade. O regulador (6) mantém-na fechando as pás diretrizes quando o veio acelera e abrindo-as quando abranda. Tem de agir aos poucos: fechar de repente uma conduta longa provoca um golpe de aríete, uma sobrepressão capaz de a rebentar. A 100 voltas por minuto, um gerador precisa de 60 polos para dar 50 hertz.

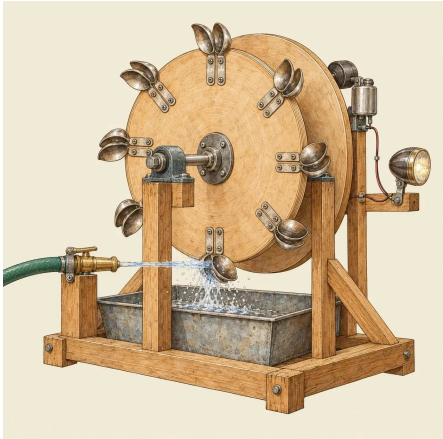
Como se constrói

Uma roda de colheres alimentada por uma mangueira de jardim a partir de um ribeiro pode acender uma lanterna de bicicleta. Peça primeiro autorização ao proprietário e à entidade que gere a água: na maior parte dos países, captar água de um curso de água exige licença.

Medir a queda. Estenda uma mangueira desde a tomada de água até ao local da roda, mantenha a ponta de cima debaixo de água e deixe-a correr até deixar de sair ar. Feche então a ponta de baixo com um manómetro: cada bar de pressão estática corresponde a cerca de 10,2 metros de queda. Um nível de obra e uma mira, levados para jusante de uma marca à seguinte, servem de verificação.

Medir o caudal. Num fio de água de menos de 5 litros por segundo, aproximadamente, faça-o passar por um tubo numa pequena barragem de terra e cronometre quanto tempo leva a encher um balde. Num ribeiro maior, cronometre um flutuador ao longo de 10 metros, multiplique a velocidade por cerca de 0,85 e depois pela largura e pela profundidade média.

Calcular a potência. Com 8 metros de queda e 0,3 litros por segundo na mangueira, a água leva $P = 1000 \times 9{,}81 \times 0{,}0003 \times 8 \approx 24$ W. A mangueira e o bocal perdem parte da queda, e uma roda e um dínamo caseiros só convertem em eletricidade uma parte modesta do resto. Conte com alguns watts, talvez o bastante para um dínamo de bicicleta de 3 watts, e meça o que obtém de facto. Deixe a maior parte do ribeiro para os peixes.



Duas colheres lado a lado formam uma concha dupla rudimentar.

Fazer o rotor. Fixe um disco de contraplacado com cerca de 30 cm de diâmetro num eixo de aço que gire em dois rolamentos. Aparafuse à volta da borda oito a dez pares de colheres de sopa, lado a lado, com as conchas a sair da borda, viradas para o jato e unidas numa aresta.

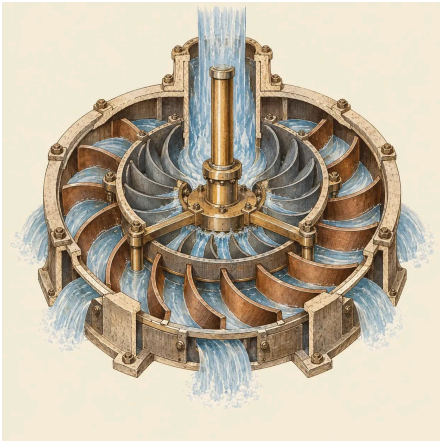
Apontar o jato. Ponha um bocal de jato na mangueira e prenda-o de modo que o jato bata nas arestas na tangente. Sem perdas sairia a 12,5 m/s; com o atrito na mangueira, é mais provável que saia a cerca de 10 m/s. As colheres rendem mais a metade da velocidade do jato, medida no círculo onde ele lhes bate: cerca de 270 voltas por minuto se esse círculo tiver 35 cm de diâmetro.

Juntar o dínamo. Monte no eixo um segundo disco liso com cerca de 35 cm e encoste à sua borda o rolete de um dínamo de garrafa. A 270 voltas por minuto, essa borda move-se como o pneu de uma bicicleta a cerca de 18 km/h. Ligue-o a uma lanterna de bicicleta com dois fios isolados: na bicicleta é o quadro que faz o retorno da corrente; aqui tem de ser um fio. Devolva a água ao ribeiro abaixo da roda.

> **Segurança.** Nunca trabalhe sozinho junto a um ribeiro nem entre nele quando vai cheio: a água rápida e fria derruba e afoga. Uma mangueira que desce 8 metros já está a quase um bar. Abra e feche devagar as condutas longas, porque uma paragem brusca provoca um golpe de aríete que rebenta as uniões. Mantenha os olhos e os dedos fora do jato, proteja o rotor com uma tampa e corte a água antes de lhe tocar. Isole todas as ligações e mantenha os dedos longe também do rolete do dínamo. Os geradores maiores atingem tensões perigosas: nunca ligue nenhum à instalação elétrica de um edifício.

História e evolução

Em 1825, Claude Burdin, professor da Escola de Minas de Saint-Étienne, construiu em Pontgibaud uma turbina com um rendimento de 67 %. O seu antigo aluno Benoît Fourneyron tornou-a uma máquina industrial: em abril de 1827, na forja de Pont-sur-l'Ognon, instalou uma turbina de seis cavalos com uma queda de 1,40 metros.



Na turbina de Fourneyron a água corre para fora, das diretrizes fixas para a coroa móvel.

Em 1849, em Lowell, no Massachusetts, James B. Francis construiu uma turbina aperfeiçoada de fluxo centrípeto e publicou os seus ensaios em 1855. Nas regiões auríferas da Califórnia, Lester Pelton fez a sua primeira roda em 1878 e patenteou a concha dupla em 1880.

Em 1878, Lord Armstrong iluminou a sua casa de Cragside, em Northumberland, com lâmpadas de arco alimentadas pela água dos lagos da propriedade. Em Appleton, no Wisconsin, uma central forneceu corrente contínua a partir de 30 de setembro de 1882. Em 1895, a central Adams das cataratas do Niágara pôs a funcionar geradores Westinghouse de 5000 cavalos, em corrente alternada segundo o sistema de Nikola Tesla; a partir de novembro de 1896 a sua eletricidade chegou a Buffalo. Viktor Kaplan registou em 1913 a patente das pás orientáveis, e a primeira turbina Kaplan industrial funcionou em Velm, na Áustria, em 1919.

Em 2023 o mundo tinha 1412 GW de potência hidroelétrica. A barragem das Três Gargantas, na China, tem sozinha 22,5 GW, e cerca de 1,3 milhões de pessoas foram deslocadas para a sua albufeira. As barragens barram a

passagem aos peixes migradores e retêm os sedimentos: segundo um estudo publicado em 2019, só 37 % dos 246 rios mais longos do mundo corriam ainda livres em todo o seu curso.

Números-chave

Primeira turbina industrial
Benoît Fourneyron, abril de 1827, Pont-sur-l'Ognon (França): 6 cv com uma queda de 1,40 m

Potência disponível
$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$

Conchas duplas de Pelton
Patente norte-americana 233 692, 26 de outubro de 1880

Maior central
Barragem das Três Gargantas, China: 22,5 GW

Potência hidroelétrica mundial
1412 GW em 2023

Fontes

1. Usine de transformation des métaux dite forges de Pont-sur-l'Ognon (IA70000081) · Ministère de la Culture, base Mérimée https://pop.culture.gouv.fr/notice/merimee/IA70000081
2. Instrument de démonstration en mécanique des fluides n° 5 : tourniquet hydraulique · Inventaire du patrimoine, Région Bourgogne-Franche-Comté https://patrimoine.bourgognefranchecomte.fr/dossier/pdf/IM21008546
3. Boyden Hydraulic Turbines (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/AboutASME/Who%20We%20Are/Engineering%20History/Landmarks/5-Boyden-Hydraulic-Turbines-1871.pdf
4. #157 Pelton Waterwheel Collection · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/157-pelton-waterwheel-collection
5. US 233,692: Water-wheel (L. A. Pelton, 26 October 1880) · United States Patent Office, via Google Patents https://patents.google.com/patent/US233692A/en
6. 100 Jahre Kaplan-Turbine (H. Jaberg, WasserWirtschaft 6/2014) · Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, TU Graz https://www.hfm.tugraz.at/fileadmin/user_upload/pics/news/2020/201406_Helmut_Jaberg_Viktor-Kaplan-Kaplanturbine.pdf
7. History of Cragside · National Trust https://www.nationaltrust.org.uk/visit/north-east/cragside/history-of-cragside
8. Milestones: Vulcan Street Plant, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Vulcan_Street_Plant,_1882
9. Milestones: Adams Hydroelectric Generating Plant, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Adams_Hydroelectric_Generating_Plant,_1895
10. Niagara Power Houses · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/niagara/
11. Types of Hydropower Turbines · U.S. Department of Energy, Water Power Technologies Office https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines
12. Turbine types · Electrical and Mechanical Services Department, Hong Kong SAR Government https://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric/Turbine_types.html
13. Glossary of Hydropower Terms · U.S. Bureau of Reclamation https://www.usbr.gov/power/edu/Glossary%20of%20Hydropower%20Terms.pdf
14. Hydraulic head · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Hydraulic_head
15. Water (FAO Training Series), chapter 3: Estimates of water flow · FAO https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705e/x6705e03.htm
16. 2024 World Hydropower Outlook · International Hydropower Association https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook
17. Thousands being moved from China's Three Gorges, again (Reuters) · Eco-Business https://www.eco-business.com/news/thousands-being-moved-from-chinas-three-gorges-again/
18. New study: just one-third of the world's longest rivers remain free-flowing · McGill University Reporter (on Grill et al., Nature 569, 2019) https://reporter.mcgill.ca/new-study-just-one-third-of-the-worlds-longest-rivers-remain-free-flowing/
19. Fluid Machinery, lectures 26–27: Pelton wheel · NPTEL, Indian Institute of Technology Kanpur https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_7/7_5.html
20. Pelton Impulse Water Turbine Design Formulas · Engineers Edge https://www.engineersedge.com/hydraulic/pelton_impulse_water_turbine_15629.htm

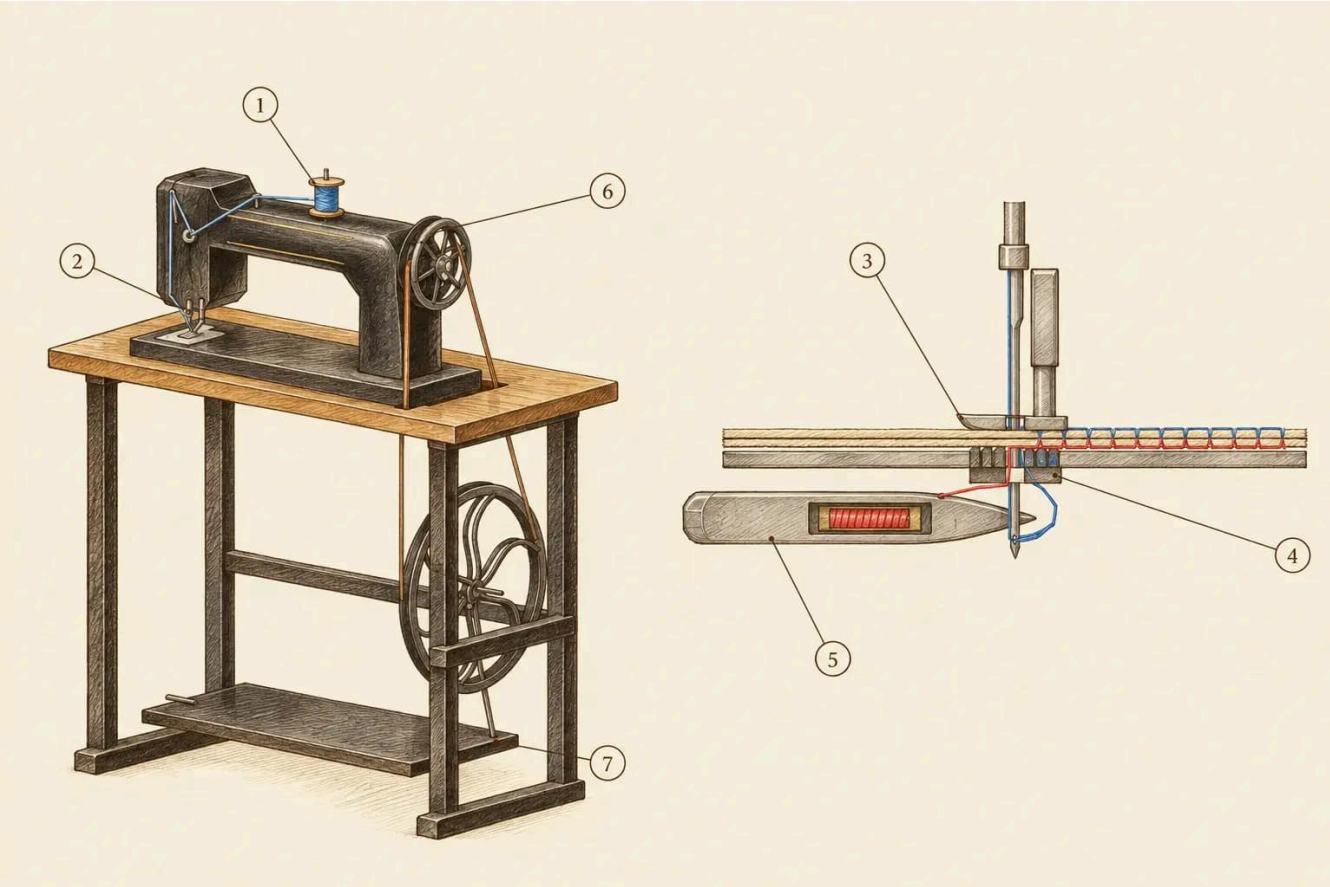
Factos verificados em 2026-10-14

Máquina de costura

Mil pontos por minuto

1830 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Engrenagens (p. 153), Metalurgia do ferro (p. 136), Tecelagem (p. 44), Aço (p. 140)



1 Carrinho de linha de cima 2 Barra da agulha e agulha 3 Calcador 4 Dentes de arrasto 5 Lançadeira com bobina 6 Volante de mão 7 Pedal e volante de inércia

Uma máquina de costura une o tecido com pontos formados mecanicamente, na maioria das vezes entrelaçando uma linha de cima, levada por uma agulha com o buraco perto da ponta, com uma linha de baixo guardada numa lançadeira ou caixa de bobina. A máquina de ponto de cadeia de Barthélemy Thimonnier, de 1830, foi a primeira usada numa oficina; a patente do ponto preso de Elias Howe em 1846 e a máquina de Isaac Singer em 1851 fizeram dela uma ferramenta da indústria e da casa.

O que é

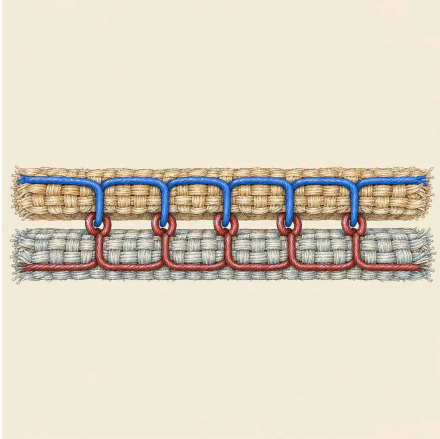
Uma máquina de costura faz passar uma agulha enfiada através do tecido, vezes sem conta, e a cada passagem prende a linha para que os pontos aguentem. O seu mecanismo repete poucos movimentos: a agulha desce e sobe, um gancho ou uma lançadeira apanha a linha por baixo do tecido e o pano avança um ponto.

A maioria das máquinas faz ponto preso: duas linhas, uma vinda de cima e outra de baixo, entrelaçam-se a meio da espessura do tecido. A máquina típica das décadas de 1860 a 1880, a que levou a costura à máquina para

oficinas e casas, era uma cabeça de ferro fundido sobre um pé de pedal, com agulha reta e lançadeira em forma de barco.

Como funciona

A agulha de uma máquina de costura tem o buraco perto da ponta, ao contrário de uma agulha de mão, e nunca é largada: fica presa na sua barra enquanto a ponta e o buraco atravessam o tecido. Leva a linha de cima através do pano e do furo da chapa da agulha. Quando começa a subir, o atrito segura um pouco de linha por baixo do tecido e abre-se uma pequena laçada ao lado da agulha.



Num ponto preso acabado, a linha de cima e a de baixo entrelaçam-se entre as camadas de tecido.

Nesse instante, a lançadeira pontiaguda passa pela laçada, levando lá dentro uma pequena bobina de linha de baixo. A laçada desliza à volta da lançadeira e sai por trás, de modo que a linha de cima passa a envolver a de baixo. O puxa-linha, na frente da máquina, estica então a linha de cima e o cruzamento sobe para o meio do tecido. Molas de tensão nas duas linhas decidem onde fica: se uma linha estiver demasiado presa, o nó vê-se numa das faces.

A lançadeira de barco guarda a bobina da linha de baixo; a linha sai por um furo na sua lateral, onde uma pequena mola, aqui não desenhada, regula a tensão.

Entre dois pontos, o tecido tem de avançar. O calcador segura-o contra uma pequena barra dentada, os dentes de arrasto, que sobe por fendas da chapa, empurra o pano um comprimento de ponto e volta a descer. O mesmo veio principal que move a barra da agulha por uma manivela aciona por baixo a lançadeira e o arrasto, e assim os três movimentos mantêm-se certos. Numa máquina de pedal, os pés fazem balançar um largo pedal de ferro, uma biela faz girar um volante pesado e uma correia de couro leva o movimento até ao volante de mão, no braço.

O ponto de cadeia de uma linha, mais antigo, dispensa a linha de baixo. Na máquina de Thimonnier, uma agulha de gancho puxava cada nova laçada através da anterior; as máquinas posteriores de ponto de cadeia de uma linha usam uma agulha com buraco e, por baixo, um laçador que segura cada laçada para o ponto seguinte. É um ponto rápido, mas se se puxar a ponta da linha no fim da costura, toda a costura se pode desfazer.

Como construir

Uma máquina de costura a sério exige agulhas temperadas, cames e peças bem ajustadas, feitas numa oficina mecânica. Um modelo grande num bastidor simples mostra como se entrelaçam as duas linhas de um ponto preso.

Fazer o bastidor. Estique um pedaço de serapilheira de trama larga sobre uma moldura ou um bastidor de bordar e fixe-o a uma altura cómoda, com espaço para meter a mão por baixo.

Fazer a agulha. Pegue numa cavilha de madeira com cerca de 30 cm de comprimento e 8 mm de espessura, afie uma ponta com um afia-lápis, deixando-a romba, e faça um furo de 4 mm a cerca de 1 cm da ponta. Enfie neste buraco um fio de lã grosso de uma cor, deixando uma ponta solta de cerca de 15 cm.

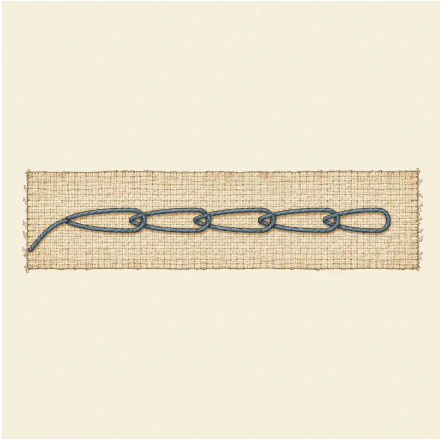
Fazer a lançadeira. Enrole cerca de dois metros de fio de lã de outra cor à volta de uma mola da roupa ou de uma pequena lançadeira de madeira. Antes do primeiro ponto, prenda com fita adesiva a ponta de cada fio nas costas do bastidor para que não se solte.

Coser. Uma pessoa enterra a agulha na serapilheira até o buraco ficar bem abaixo dela e depois sobe-a um centímetro, segurando o fio por cima do pano, para se abrir uma laçada por baixo. Outra pessoa passa a lançadeira pela laçada, da frente para trás, desenrolando fio quando for preciso. Puxe a agulha para cima e estique as duas linhas até o cruzamento se enterrar na trama. Faça o ponto seguinte cerca de 2 cm mais à frente no pano e repita. Virando o bastidor, veem-se as duas cores ligadas entre as duas faces.

> **Segurança.** Prenda a peça num torno ou com um grampo para furar e mantenha os dedos longe da broca. Numa máquina de costura verdadeira, afaste os dedos da agulha em movimento, nunca ponha a mão debaixo do calcador com a máquina a trabalhar e desligue e tire da tomada uma máquina elétrica antes de a enfiar, mudar a agulha ou limpar o cotão.

História e evolução

Desde o fim do século XVIII vários inventores patentearam aparelhos de coser, mas a primeira máquina usada na produção foi a do alfaiate francês Barthélemy Thimonnier, patenteada em 1830. Fazia ponto de cadeia com uma agulha de gancho, à maneira do bordado de tambor. Pouco depois tinha 80 máquinas a coser roupa militar numa oficina de Paris. Uma multidão de alfaiates, com medo de perder o ofício, entrou e destruiu-as. A maioria dos relatos data o ataque de 1831; alguns põem-no dez anos mais tarde. Thimonnier morreu em 1857.



No ponto de cadeia cada laçada só é presa pela seguinte. Nada prende a última, por isso puxar a linha por essa ponta desfaz a costura laçada a laçada.

Nos Estados Unidos, Elias Howe recebeu a 10 de setembro de 1846 a patente n.º 4750 para uma máquina de ponto preso. Usava uma agulha curva com o buraco perto da ponta e uma lançadeira com a segunda linha, e ele afirmava que cosia 250 pontos por minuto. Em 1851, Isaac Merritt Singer patenteou uma máquina cuja agulha reta subia e descia sobre uma mesa plana, a disposição que ainda hoje se usa. As patentes sobrepunham-se e os fabricantes processaram-se uns aos outros até 1856, quando Howe, Singer, Wheeler and Wilson e Grover and Baker juntaram as suas patentes na Sewing Machine Combination; Howe recebia uma quantia por cada máquina vendida.

Edward Clark, sócio de Singer, vendeu as máquinas a prestações e através de agentes que iam de porta em porta. Em 1875 foram licenciadas cerca de 250 000 máquinas Singer, contra cerca de 104 000 do concorrente mais próximo, a Wheeler and Wilson. Os ganchos rotativos substituíram a lançadeira nas máquinas rápidas, no fim do século XIX começaram a montar-se motores elétricos e as fábricas de confeção passaram a depender de filas de máquinas a motor que cosiam vários milhares de pontos por minuto.

Números-chave

Máquina de Thimonnier

Patenteada em França em 1830; 80 máquinas coseram fardas em Paris até serem destruídas por alfaiates

Patente de Singer

12 de agosto de 1851: agulha reta com movimento vertical sobre uma mesa plana

Máquinas Singer licenciadas em 1875

Cerca de 250 000 máquinas licenciadas, mais do dobro do concorrente mais próximo

Patente do ponto preso de Howe

Patente norte-americana n.º 4750, 10 de setembro de 1846; 250 pontos por minuto, segundo ele

Sewing Machine Combination

1856, o primeiro consórcio de patentes da indústria norte-americana

Fontes

1. Copy of Thimonnier's chain-stitch sewing machine, 1830 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44718/copy-of-thimonniers-chain-stitch-sewing-machine-1830-sewing-machines
2. Sewing Machine (Designs for Democracy) · U.S. National Archives https://www.archives.gov/exhibits/designs_for_democracy/symbols_and_substance/articles/sewing_machine_1.html
3. Isaac M. Singer (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/isaac-m-singer/
4. 'New Family' sewing machine (model 12/12k) · Victoria and Albert Museum https://collections.vam.ac.uk/item/O1351206
5. The Invention of the Sewing Machine (Grace Rogers Cooper, Smithsonian Institution, 1968) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/files/32677/32677-h/32677-h.htm
6. Singer New Family sewing machine, 1865 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co44768/singer-new-family-sewing-machine-1865-1
7. Instructions for using and adjusting the Singer 12K sewing machine · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/singer12k/
8. Howe Machine Company instruction book · ISMACS International (Needlebar archive) https://ismacs.net/needlebar/main/manuals/howe/index4.html
9. Singer oscillating shuttle machines: retiming · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/28timing
10. Needles for domestic Singer sewing machines · Singer Sewing Info https://www.singersewinginfo.co.uk/needles

Factos verificados em 2026-10-12

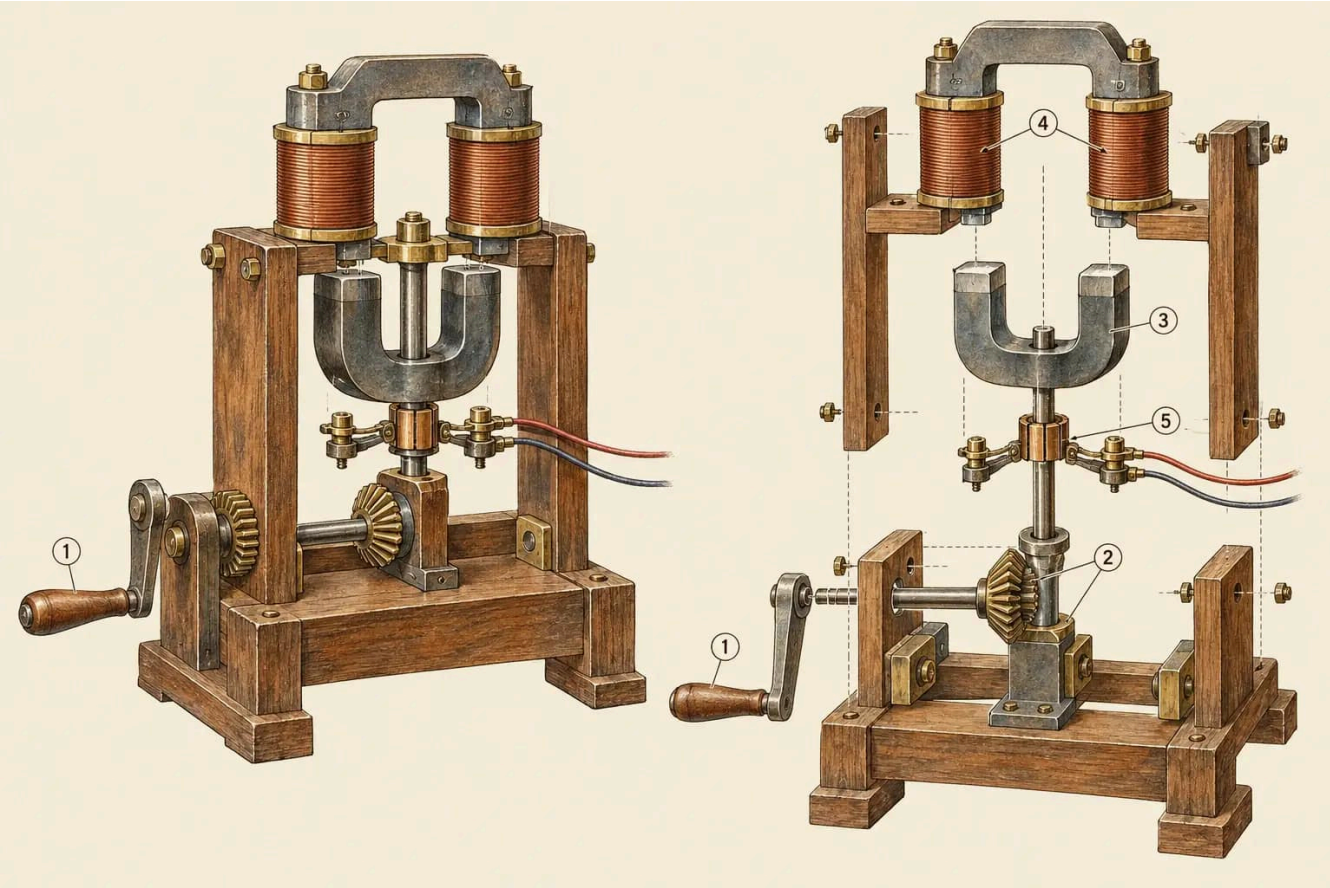
Gerador elétrico

O movimento transformado em corrente

1831 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Pilha elétrica (p. 240), Metalurgia do ferro (p. 136)

Conduz a: Alumínio (p. 335), Bateria de chumbo-ácido (p. 303), Lâmpada incandescente (p. 321), Rádio (p. 344), Turbina a vapor (p. 325), Transformador (p. 330), Turbina hidráulica (p. 265), Turbina eólica (p. 339), Radiografia (p. 348)



1 Manivela 2 Engrenagens cónicas 3 Íman em ferradura 4 Bobinas com núcleo de ferro 5 Comutador e escovas

Um gerador elétrico transforma movimento mecânico em corrente fazendo passar um íman e uma bobina de fio um pelo outro. Michael Faraday descobriu o princípio em 1831, e quase toda a eletricidade usada hoje ainda sai de máquinas baseadas nele.

O que é

Um gerador converte trabalho mecânico, vindo de uma manivela, de uma roda de água, de uma máquina a vapor ou de uma turbina, em corrente elétrica. Precisa de um íman, de uma bobina de fio de cobre e de uma forma de fazer passar um pelo outro.

As pilhas são caras e esgotam-se; os geradores passaram a produzir eletricidade em grande quantidade a partir do carvão ou de uma queda de água. Centrais elétricas, alternadores de automóvel, dínamos de bicicleta e turbinas eólicas funcionam todos assim.

Como funciona

O princípio é a indução eletromagnética. Quando o fluxo magnético através de uma bobina (a quantidade de campo que a atravessa) varia, surge uma tensão entre as suas extremidades. Se o fluxo se mantiver constante, não há tensão. Quanto mais depressa o fluxo varia e quanto mais espiras tem a bobina, maior é a tensão.

O anel de indução de Faraday: a agulha só se mexia no instante em que a pilha era ligada ou desligada.

Na máquina da prancha, construída por Hippolyte Pixii em 1832, uma manivela faz girar um eixo vertical através de um par de engrenagens cónicas. O eixo leva um íman permanente em ferradura cujos polos passam mesmo por baixo de duas bobinas fixas, enroladas em núcleos de ferro. Quando um polo norte chega por baixo de uma bobina, o fluxo que a atravessa aumenta e a corrente circula num sentido. Quando o polo se afasta, o fluxo diminui e a corrente inverte-se. O polo sul repete depois o ciclo com o campo no sentido oposto, pelo que a máquina, sem mais nada, produz corrente alternada.

Pixii acrescentou um comutador, sugerido por André-Marie Ampère: um interruptor no eixo que troca as duas ligações de saída a cada meia volta, precisamente quando a corrente muda de sentido. Obtém-se uma corrente contínua pulsada, capaz de carregar baterias ou decompor a água.

O disco de Faraday, de 1831, dava uma pequena corrente contínua e ininterrupta.

Logo que a corrente passa, as bobinas tornam-se ímanes e travam o movimento, por isso a manivela fica mais pesada quando se liga uma lâmpada. A energia elétrica obtida é o trabalho fornecido pela mão ou pelo motor, menos as perdas por atrito e aquecimento.

No século XIX os ímanes permanentes eram fracos, e as máquinas grandes usavam eletroímanes. Num dínamo autoexcitado, parte da corrente produzida pela própria máquina alimenta esses eletroímanes. O leve magnetismo que fica no ferro faz nascer uma pequena corrente, que reforça o campo, que aumenta a corrente, até a tensão estabilizar num nível fixado pela velocidade e pela saturação do ferro. Um gerador de central moderno faz girar um eletroíman dentro de enrolamentos fixos; com dois polos, gira a 3000 rotações por minuto para dar 50 hertz, ou a 3600 para 60 hertz.

Como construir

Um pequeno alternador de manivela consegue acender um LED ou uma lâmpada de lanterna.

Fazer o rotor. Cortar um disco de contraplacado ou madeira dura com cerca de 15 cm de diâmetro. Colar oito ímanes planos em disco (ferrite ou neodímio) numa das faces, igualmente espaçados junto à borda, de modo que as faces voltadas para fora alternem norte, sul, norte, sul. Atá-los com cordel, porque um íman solto é projetado a alta velocidade.

Bobinar. Enrolar oito bobinas planas de fio de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm, com algumas centenas de espiras cada, todas no mesmo sentido, num molde do tamanho de um íman.

Montar o estator. Fixar as bobinas numa tábua paralela ao rotor, cada uma em frente de um íman, a poucos milímetros de distância. Bobinas vizinhas ficam sempre em frente de polos opostos, por isso devem ligar-se em

série invertendo uma bobina em cada duas; assim as tensões somam-se.

Multiplicar a velocidade. Uma correia entre uma polia grande na manivela e uma pequena no eixo do rotor multiplica a velocidade quatro ou cinco vezes.

Retificar e testar. A saída é corrente alternada. Quatro díodos montados em ponte transformam-na em corrente contínua pulsada. Acender um LED a partir da ponte através de uma resistência de um quilo-ohm e meio watt, que mantém a corrente abaixo de cerca de 20 miliamperes enquanto a saída não passar de cerca de 20 volts; medir a tensão com um multímetro antes de rodar a manivela com força. Carregar uma bateria exige um controlador de carga adequado ao seu tipo, e não apenas díodos.

Sem ímanes comprados, podem magnetizar-se barras de aço dentro de uma bobina alimentada durante alguns segundos por uma bateria, com uma lâmpada de automóvel em série para limitar a corrente. Um dínamo autoexcitado, uma vez arrancado pelo magnetismo residual, dispensa qualquer íman permanente.

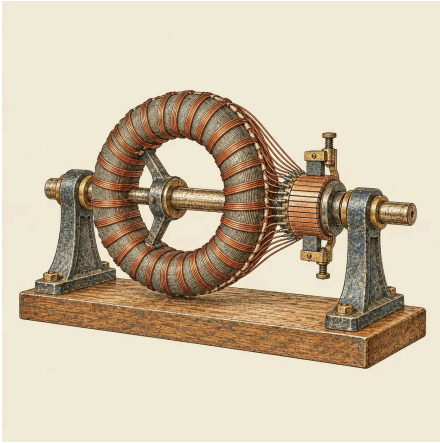
> **Segurança.** As peças rotativas apanham dedos, cabelo e roupa larga: proteger a correia e o rotor. Os ímanes de neodímio juntam-se com força suficiente para beliscar a pele e partir-se; mantê-los longe de pacemakers. A tensão sobe com a velocidade e torna-se perigosa nas máquinas maiores. Nunca ligar um gerador artesanal ou portátil à instalação de um edifício nem à rede elétrica: a corrente devolvida à rede pode matar quem trabalha nas linhas, e só um eletricista, com um comutador de transferência adequado, deve fazer essa ligação.

História e evolução

Em 1820, Hans Christian Ørsted mostrou que uma corrente elétrica desvia a agulha de uma bússola. Michael Faraday raciocinou que o magnetismo também devia poder produzir eletricidade. A 29 de agosto de 1831, na Royal Institution de Londres, enrolou duas bobinas num anel de ferro e viu a agulha de um galvanómetro saltar sempre que ligava ou desligava uma pilha na outra bobina. Nesse outono fez girar um disco de cobre entre os polos de um íman e tirou dele uma corrente contínua. Apresentou os resultados à Royal Society a 24 de novembro de 1831.

Menos de um ano depois, Pixii, fabricante de instrumentos em Paris, construiu a máquina de manivela da prancha. Em 1866 e 1867, Samuel Alfred Varley, Werner Siemens e Charles Wheatstone anunciaram cada um o dínamo autoexcitado, e Siemens deu nome ao princípio dínamo-elétrico. Por volta de 1870, Zénobe Gramme construiu um induzido em anel que dava uma corrente regular.

A 4 de setembro de 1882, a central de Thomas Edison em Pearl Street, Nova Iorque, começou a fornecer corrente contínua a 110 volts produzida por seis dínamos «Jumbo» movidos a vapor. A corrente alternada venceu nas longas distâncias, porque os transformadores permitem elevar a sua tensão; em 1891 uma linha trifásica levou energia ao longo de 175 km, de Lauffen am Neckar a Frankfurt. Charles Parsons acoplou um dínamo a uma turbina a vapor em 1884, e desde então são geradores acionados por turbinas que abastecem a maioria das grandes centrais. Em 1975, o primeiro de três grupos de 600 MW entrou em serviço na barragem de Grand Coulee, com um estator de 22 metros de diâmetro.



O anel de Gramme distribuía o enrolamento à volta de todo o induzido, e a corrente quase deixava de pulsar.

Números-chave

Descoberta da indução
29 de agosto de 1831, por Michael Faraday

Máquina magnetoelétrica de Pixii
Paris, 1832

Dínamo autoexcitado
1866 a 1867 (Varley, Siemens, Wheatstone)

Central de Pearl Street, 1882
Seis dínamos de cerca de 100 kW, corrente contínua a 110 V

Fontes

1. Michael Faraday · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/michael-faraday/
2. Magnetoelectric machine by Pixii · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/MagnetoelectricMachineByPixii.html
3. Chronik: Generatoren · VDE Verband der Elektrotechnik https://www.vde.com/de/geschichte/chronik/generatoren
4. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

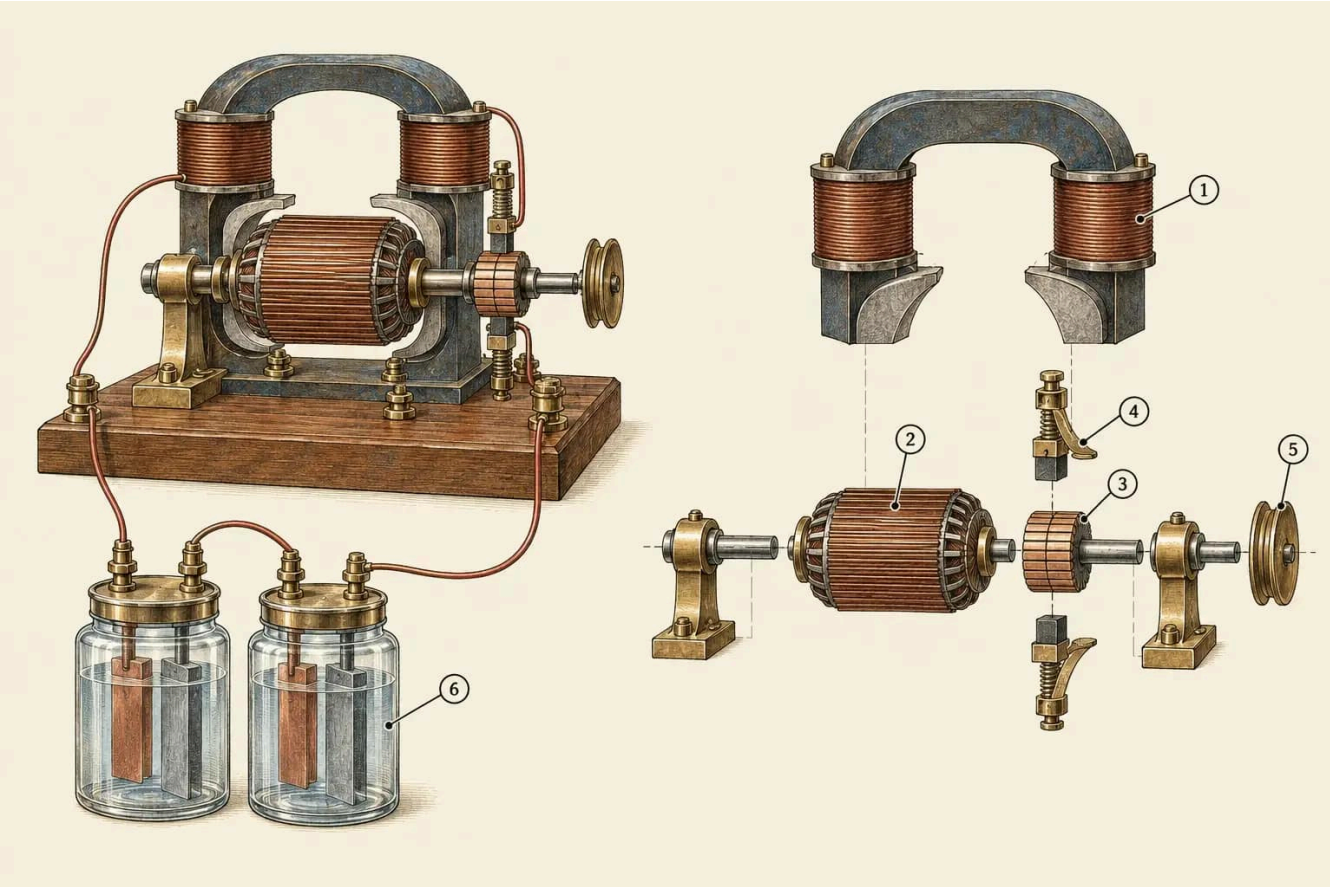
Factos verificados em 2026-10-11

Motor elétrico

A corrente transformada em rotação

1834 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Pilha elétrica (p. 240), Metalurgia do ferro (p. 136)



1 Íman de campo (indutor) 2 Enrolamento do induzido 3 Comutador 4 Escova 5 Veio e polia 6 Pilha

Um motor elétrico transforma a corrente em rotação: uma bobina percorrida por corrente entre os polos de um íman recebe um impulso lateral, e um comutador ou um campo girante mantém esse impulso no mesmo sentido. O motor de Moritz Jacobi, em 1834, dava muito mais potência do que todos os anteriores; hoje os sistemas acionados por motores consomem cerca de metade da eletricidade do mundo.

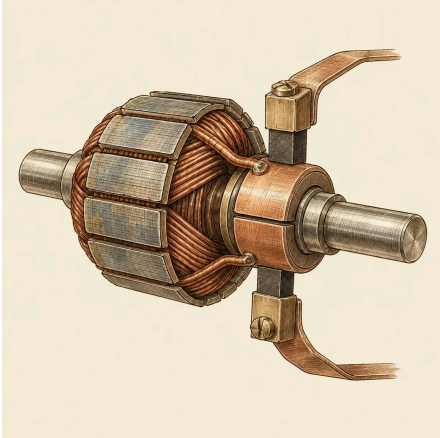
O que é

Um motor elétrico transforma a corrente elétrica em rotação. Move ventoinhas, bombas, elevadores, elétricos e máquinas-ferramenta. A plataforma Electric Motor Systems do programa 4E da Agência Internacional de Energia estima que os sistemas acionados por motores consumiram cerca de 53% da eletricidade mundial em 2023.

A prancha mostra um motor de corrente contínua do final do século XIX alimentado por uma pilha.

Como funciona

Um fio percorrido por corrente dentro de um campo magnético recebe um impulso lateral, perpendicular à corrente e ao campo. Numa bobina colocada entre dois polos, os dois lados compridos levam corrente em sentidos opostos: um é empurrado para cima, o outro para baixo, e a bobina roda.



Comutador de dois segmentos: a cada meia volta as escovas passam para a outra metade.

Sozinha, a bobina rodaria até o seu plano ficar perpendicular ao campo, oscilaria um pouco e pararia aí. O comutador impede-o. É um anel montado no veio e dividido em segmentos isolados, cada um ligado à bobina; duas escovas fixas roçam nele e trazem a corrente. Na forma mais simples, de dois segmentos, as escovas passam ao outro segmento a cada meia volta, a corrente na bobina inverte-se e o binário continua a atuar no mesmo sentido.

O induzido de uma máquina leva muitas bobinas distribuídas à volta de um tambor de ferro, cada uma ligada aos seus próprios segmentos, e assim o binário fica regular. Esse ferro é feito de chapas finas isoladas, porque num núcleo maciço circulariam correntes de Foucault que desperdiçam energia em calor. O campo vem de ímanes permanentes em muitos motores pequenos, e de eletroímanes na maioria das máquinas do século XIX, como a da prancha.

Um induzido em rotação também funciona como gerador. As suas bobinas produzem uma tensão oposta à da alimentação, a força contraeletromotriz, que cresce com a velocidade. No arranque ainda não existe, e a corrente pode ser várias vezes a de regime. À medida que o motor acelera, essa tensão sobe e a corrente desce, até o binário igualar a carga. Rodada à mão, com o campo excitado e uma carga ligada, a mesma máquina fornece corrente: motor e gerador são um só aparelho usado nos dois sentidos.

Os motores de indução, alimentados em corrente alternada, não têm comutador. Enrolamentos fixos percorridos por correntes desfasadas criam um campo magnético girante. Este induz correntes nas barras de cobre ou alumínio do rotor, que roda um pouco mais devagar do que o campo.

Como construir

O motor das aulas pede uma pilha de 1,5 V (tipo D ou AA), cerca de um metro de fio de cobre esmaltado de 0,5 a 0,8 mm, dois clipes grandes, um íman em disco de ferrite ou neodímio, um elástico forte e lixa fina.

Enrolar a bobina. Enrolar o fio 10 a 20 vezes à volta de um marcador, deixando 4 a 5 cm direitos em cada ponta. Dar duas voltas com cada ponta à volta do feixe para o prender. As duas pontas têm de sair por lados opostos, alinhadas com o centro da bobina: são o eixo.

Fazer o comutador. Numa ponta, lixar todo o esmalte. Na outra, segurar a bobina na vertical, tal como vai ficar montada, e tirar o esmalte só da metade de cima do fio. Essa ponta conduz durante meia volta e isola durante a outra, de modo que a bobina nunca é empurrada para trás; passa a meia volta morta por inércia.

Montar os suportes. Dobrar cada clipe num suporte com um pé plano em baixo e um pequeno olhal no topo. Esticar o elástico ao comprido à volta da pilha, por cima dos dois pés, para que aperte cada clipe contra um polo. Pôr o íman no flanco da pilha, por baixo dos olhais: fica preso ao invólucro de aço. Pousar a bobina nos olhais, a poucos milímetros do íman.

Pô-lo a andar. Dar à bobina um ligeiro impulso. Se só oscilar, virá-la de ponta para ponta ou voltar a lixar o lado descarnado.

O comutador do motor de clipes: cobre nu em cima, esmalte por baixo; a corrente só passa durante a meia volta em que o lado nu assenta no clipe.

Fazer maior. Um íman mais forte dá mais binário; mais espiras também ajudam, desde que o fio mais comprido não reduza demasiado a corrente. Um motor de oficina junta várias bobinas num núcleo de ferro laminado, com um comutador de muitos segmentos e escovas com mola, como na prancha.

> **Segurança.** Usar só uma ou duas pilhas comuns de 1,5 V: nunca a rede elétrica, uma bateria de automóvel nem uma bateria de iões de lítio. A bobina é quase um curto-circuito, e essas fontes podem dar corrente suficiente para queimar a pele, fundir o fio ou provocar um incêndio. Até uma pilha pequena aquece, quer o motor rode quer não: fazer ensaios curtos e vigiados, e desligar a pilha logo que ela ou o fio aqueçam, antes de afinar ou lixar, e no fim. Os ímanes de neodímio juntam-se com força suficiente para beliscar a pele e podem estilhaçar-se. Mantê-los longe de pacemakers e outros implantes médicos, e fora do alcance de crianças pequenas: dois ímanes engolidos podem atrair-se através da parede do intestino.

História e evolução

Em 1820 Hans Christian Ørsted viu a agulha de uma bússola desviar-se junto a um fio percorrido por corrente. A 3 de setembro de 1821 Michael Faraday pôs um fio mergulhado em mercúrio a girar à volta de um íman, e em 1822 Peter Barlow fez rodar uma roda em estrela entre os polos de um íman. Eram demonstrações de potência quase nula. Os campos fortes chegaram com o eletroíman, que William Sturgeon construiu em meados da década de 1820, e por volta de 1832 William Ritchie e Sturgeon construíram máquinas rotativas com comutador.

A rotação de Faraday (1821): a ponta livre do fio gira à volta do íman.

Em maio de 1834, em Königsberg, Moritz Hermann Jacobi terminou um motor com oito eletroímanes em ferradura que dava cerca de 15 watts. Esta prancha adota 1834: Faraday mostrou o princípio e a pequena máquina de Sturgeon já rodava um espeto, mas a máquina de Jacobi era muito mais potente, e nenhum outro construtor a igualou antes de 1839, aproximadamente. A patente americana de Thomas Davenport chegou em 1837.

As pilhas tornavam estes motores caros até o gerador trazer corrente barata. Em 1873 viu-se que um dínamo de Zénobe Gramme rodava como motor quando outro o alimentava. Galileo Ferraris, em Turim, estudou o campo girante a partir de 1885 e publicou em março de 1888; Nikola Tesla, que trabalhava por conta própria em Nova Iorque, obteve a patente do motor de indução a 1 de maio de 1888. Hoje, motores de ímanes permanentes comandados por eletrónica movem drones e automóveis elétricos.

Números-chave

Motor de Jacobi, maio de 1834

Cerca de 15 W a 60–130 rpm, alimentado por pilhas de zinco e cobre

Primeira patente de motor nos EUA

Thomas Davenport, patente n.º 132, fevereiro de 1837

Campo magnético girante

Galileo Ferraris, publicado em março de 1888; patente de Nikola Tesla, 1 de maio de 1888

Parte da eletricidade mundial

Cerca de 53% consumidos por sistemas acionados por motores em 2023

Fontes

1. The invention of the electric motor 1800–1854 · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1376.php
2. Jacobi's Motor · Elektrotechnisches Institut, Karlsruhe Institute of Technology https://www.eti.kit.edu/english/1382.php
3. 200 Years Ago, Faraday Invented the Electric Motor · IEEE Spectrum https://spectrum.ieee.org/200-years-ago-faraday-invented-the-electric-motor
4. Barlow's Wheel – 1822 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/barlow-s-wheel-1822/
5. Replica of William Sturgeon's rotary electromagnetic engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36713/replica-of-william-sturgeons-rotary-electromagnetic-engine
6. Zenobe Gramme · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Zenobe_Gramme
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885–1888 · IEEE, Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Tesla's Electro-magnetic motor · Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Tesla's_Electro-magnetic_motor
9. AC Motors · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/motorac.html
10. Simple DC Motor (demonstration 5K40.18) · Oberlin College Physics Department https://www2.oberlin.edu/physics/catalog/demonstrations/em/simpledcmotor.html
11. Policy Brief: Electric Motor Systems, why are they important? · IEA 4E Electric Motor Systems Platform (EMSA) https://www.iea-4e.org/emsa/publications/policy-brief-electric-motor-systems-why-are-they-important/
12. College Physics 2e, 22.8 Torque on a Current Loop: Motors and Meters · OpenStax, via LibreTexts https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/22%3A_Magnetism/22.08%3A_Torque_on_a_Current_Loop_-_Motors_and_Meters
13. College Physics 2e, 23.6 Back Emf · OpenStax, Rice University https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/23-6-back-emf
14. RE-280RA/SA metal-brush motor datasheet · Mabuchi Motor Co. (copy hosted by the University of North Carolina at Charlotte) https://webpages.charlotte.edu/~jmconrad/ECGR4161-2009-01/labs/re_280rasa.pdf

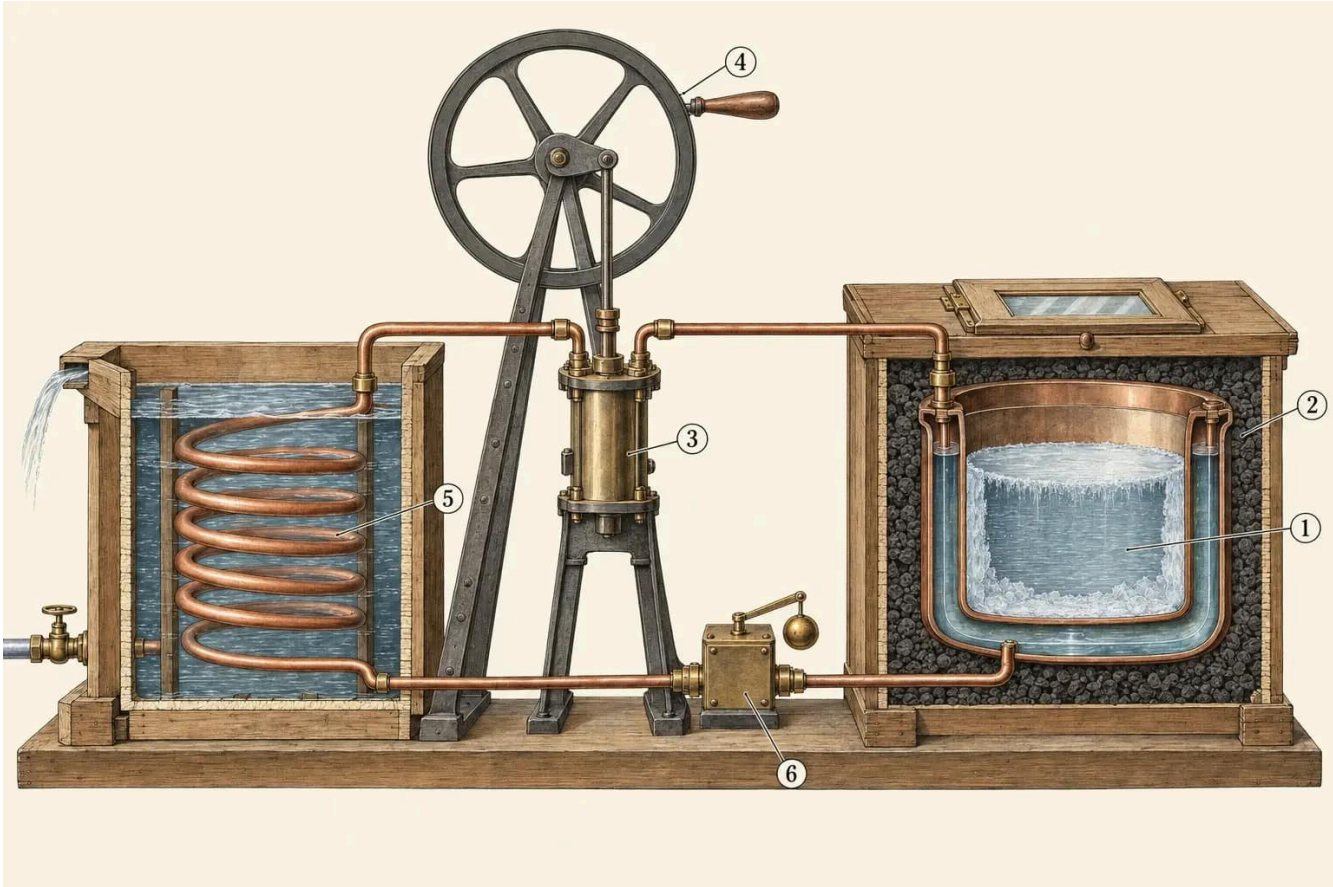
Factos verificados em 2026-10-14

Refrigeração

Bombear o calor para fora de uma caixa

1834 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Máquina a vapor (p. 227), Bomba de pistão (p. 161), Termómetro e barómetro (p. 222), Destilação (p. 173)



1 Recipiente de parede dupla com a água a congelar 2 Caixa cheia de carvão vegetal 3 Bomba 4 Volante e manípulo 5 Serpentina na tina de água de arrefecimento 6 Caixa da válvula com peso

A refrigeração mantém um espaço mais frio do que o ambiente fazendo ferver nele um líquido, que absorve calor, e levando depois o vapor para fora, onde é comprimido e volta ao estado líquido. Jacob Perkins patenteou em Londres, em 1834, a primeira máquina de compressão de vapor em circuito fechado; as máquinas de amoníaco arrefeciam cervejarias e navios na década de 1870, e o frigorífico elétrico doméstico espalhou-se a partir do fim da década de 1920.

O que é

Um frigorífico tira calor de um espaço fechado e deita-o para fora, do frio para o quente, ao contrário do sentido em que o calor corre por si. Os alimentos duram mais porque as bactérias e os bolores que os estragam crescem devagar no frio. As mesmas máquinas fazem gelo, arrefecem a cerveja durante o fabrico, transportam carne congelada entre continentes e climatizam edifícios.

Quase todas funcionam pelo ciclo de compressão de vapor. A gravura mostra a sua primeira forma operacional: uma máquina de éter que o engenheiro John Hague construiu em Londres segundo a patente de Jacob Perkins de

1834. A bomba era acionada à mão.

Como funciona

Um líquido que se evapora tira calor a tudo o que toca; o suor refresca a pele da mesma maneira. Quanto mais baixa a pressão, mais baixa a temperatura de ebulição: o éter ferve a cerca de 35 °C ao ar livre, mas num recipiente onde uma bomba mantém a pressão baixa ferve muito abaixo do ponto de congelação da água.

O pote duplo de barro aproveita o mesmo efeito: a água que se evapora da areia húmida tira calor ao pote interior.

Na máquina de Hague, o recipiente de cobre de parede dupla guarda na taça interior a água a congelar, e o éter ocupa o espaço entre as duas paredes. A bomba aspira o vapor de éter pelo alto desta camisa, de modo que o éter líquido continua a ferver e tira calor à água até ela gelar. Carvão vegetal em pó calcado à volta do recipiente trava o calor que entra da sala.

A mesma bomba empurra depois o vapor para um tubo de cobre enrolado, a serpentina, mergulhado numa tina de água corrente. Uma válvula carregada a cerca de 15 libras por polegada quadrada, pouco mais de um bar, segura o vapor sob pressão na serpentina. Comprimido e arrefecido pela água, o vapor volta a ser líquido e larga o calor que tirou ao recipiente, mais o trabalho fornecido na bomba. O líquido passa a válvula, a pressão desce e regressa à camisa para voltar a ferver. A mesma carga de éter anda assim à roda sem se gastar.

Um frigorífico moderno faz o mesmo com um compressor elétrico, uma grelha de tubos nas costas que aquece a cozinha, um tubo estreito ou uma válvula onde a pressão cai e um evaporador dentro do aparelho. Os frigoríficos de absorção substituem a bomba por um líquido que absorve o vapor do fluido frigorigénio e por um queimador ou resistência que o volta a expulsar.

Como construir

Um circuito frigorífico verdadeiro contém um fluido volátil sob pressão. O éter é muito inflamável e o seu vapor pode explodir; o amoníaco é tóxico; os fluidos atuais guardam-se líquidos a vários bares e alguns são inflamáveis. As máquinas são construídas e carregadas em fábrica; deixe qualquer abertura, carga ou esvaziamento de um circuito a técnicos de frio qualificados, segundo as regras locais. Não faça compressores nem recipientes sob pressão, e nunca corte nem fure os tubos de um frigorífico velho.

O efeito em que se baseia pode mostrar-se sem perigo com um arrefecedor de pote duplo.

Escolher os potes. Pegue em dois potes de terracota sem vidrado, novos e limpos, um cerca de 5 cm mais largo do que o outro a toda a volta; o de dentro, que toca nos alimentos, deve ser vendido para uso alimentar, nunca um vaso velho de jardim. Tape os furos de escoamento com barro ou uma rolha.

Encher o intervalo. Ponha uma camada de areia no fundo do vaso grande, assente o pequeno por cima e encha de areia o espaço entre os dois até à borda.

Molhar. Deite água limpa na areia até ficar encharcada, mas sem água à superfície. Cubra o pote interior com um pano de algodão húmido.

Colocar. Ponha o arrefecedor à sombra, onde o ar seco circule à volta. A água que passa pela parede exterior evapora-se e tira calor à areia e ao pote interior. Com ar quente e seco, o interior pode ficar vários graus abaixo da

temperatura ambiente; com ar húmido, o efeito é pequeno. Junte água uma ou duas vezes por dia.

> **Segurança.** Um arrefecedor por evaporação só atrasa a deterioração: não chega aos 5 °C ou menos de que precisam a carne, o peixe e os laticínios; use-o só para fruta e legumes inteiros, por cortar, que se conservam à temperatura ambiente, nunca para fruta cortada, saladas ou comida cozinhada, e confirme a temperatura com um termómetro. Mantenha a areia e o pano limpos e deixe secar os potes com frequência para evitar bolor. Nunca abra, fure nem aqueça o circuito de um frigorífico ou de um ar condicionado.

História e evolução

Antes de as máquinas chegarem à cozinha, um bloco de gelo arrefecia a geleira forrada a zinco.

Muito antes de qualquer máquina, guardava-se o gelo do inverno em poços e casas de gelo, e refrescava-se a água em bilhas porosas. Na Escócia, William Cullen mostrou que um líquido que se evapora depressa a pressão reduzida, éter na sua demonstração mais conhecida, arrefece a água à volta até a gelar; os relatos datam estes trabalhos entre 1748 e 1756. Ficou por uma demonstração de laboratório. Em 1805, o norte-americano Oliver Evans descreveu um ciclo fechado de compressão de vapor, mas nunca o construiu.

Jacob Perkins, inventor norte-americano radicado em Londres, patenteou uma máquina em circuito fechado a 14 de agosto de 1834. Hague construiu-a; produziu algum gelo, mas não encontrou compradores. A ideia tornou-se negócio na década de 1850, quando James Harrison na Austrália e Alexander Twining nos Estados Unidos construíram as primeiras máquinas de gelo vendidas. Em 1859, o francês Ferdinand Carré patenteou uma máquina de absorção com amoníaco dissolvido em água. Na década de 1870, Carl von Linde desenhou em Munique máquinas de compressão de amoníaco; uma das primeiras, vendida em 1876, foi para uma cervejaria de Trieste. No mesmo ano, o navio francês Frigorifique, equipado por Charles Tellier, realizou o primeiro transporte marítimo de carne refrigerada entre Ruão e Buenos Aires.

Os pequenos motores elétricos tornaram possível o frigorífico doméstico. O Monitor Top da General Electric, de 1927, com o compressor num tambor por cima do móvel, custava cerca de 525 dólares no lançamento e desceu para uns 200 em poucos anos. Os clorofluorocarbonetos como o freon, desenvolvidos em 1928 e fabricados comercialmente desde o início da década de 1930, substituíram depois os fluidos tóxicos ou inflamáveis dos primeiros aparelhos domésticos, como o dióxido de enxofre, o cloreto de metilo e o amoníaco. Mais tarde descobriu-se que destruíam a camada de ozono, e o Protocolo de Montreal de 1987 organizou o seu abandono; em 2016, a emenda de Kigali acrescentou os seus substitutos, os HFC, potentes gases com efeito de estufa. Em 2024, o Instituto Internacional do Frio estimava que o frio e a climatização consomem cerca de um quinto da eletricidade do mundo.

O Monitor Top de 1927: o compressor fica dentro do tambor, e a serpentina de cobre à sua volta liberta o calor retirado do interior do móvel.

Números-chave

Patente de Perkins

Patente britânica n.º 6662, 14 de agosto de 1834, com éter como fluido de trabalho

Máquina de absorção a amoníaco de Carré

1859, França

Válvula com peso da máquina de Hague

Carregada a cerca de 15 libras por polegada quadrada (cerca de 1 bar)

Protocolo de Montreal sobre gases que destroem o ozono

Assinado em 1987, em vigor em 1989; HFC acrescentados em Kigali em 2016

Parte da eletricidade mundial usada no frio

Cerca de 20% (Instituto Internacional do Frio)

Fontes

1. #274 Perkins Vapor-Compression Cycle for Refrigeration (landmark brochure) · American Society of Mechanical Engineers https://www.asme.org/getmedia/cb9bea09-6d23-425e-bfe5-5f6d786919fb/274-Perkins-Vapor-Comp-Refrig.pdf
2. Froid · Encyclopédie Larousse https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/froid/53766
3. Historical beginnings: using natural refrigeration · Chillventa / NürnbergMesse https://www.chillventa.de/en/expert-insights/refrigeration/beginnings-of-refrigeration
4. Cornerstones of compression: making cold · COMPRESSORtech2 https://www.compressortech2.com/news/cornerstones-of-compression-making-cold/8054876.article
5. GE Monitor-Top Refrigerator · Albany Institute of History & Art https://albanyinstitute.org/online-exhibition/50-objects/section/ge-monitor-top-refrigerator
6. The Montreal Protocol · UNEP Ozone Secretariat https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol
7. New IIR figures highlight the role of the refrigeration sector · International Institute of Refrigeration https://iifiir.org/en/news/de-nouveaux-chiffres-de-l-iif-mettent-en-lumiere-la-place-du-secteur-du-froid
8. Got a question about Monitor Top refrigerators? (model history) · cool386.com https://www.cool386.com/ge/ge1.html
9. Diethyl ether: phase change data (vapour pressure, enthalpy of vaporization) · NIST Chemistry WebBook https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C60297&Mask=4
10. Diethyl ether (compound summary, vapor pressure) · PubChem, National Library of Medicine https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3283

Factos verificados em 2026-10-12

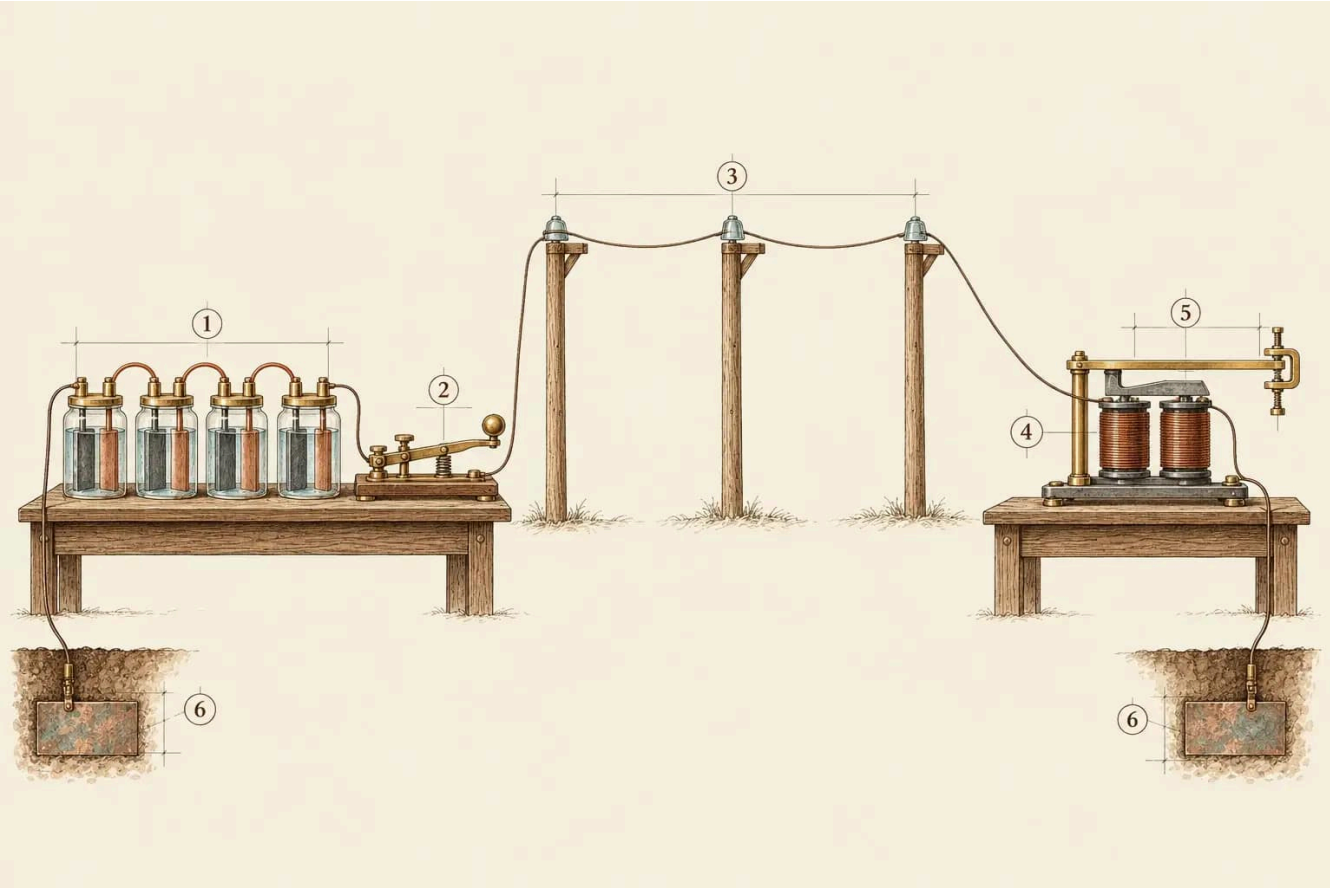
Telégrafo elétrico

Mensagens escritas enviadas por um fio

1837 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Pilha elétrica (p. 240), Escrita (p. 85)

Conduz a: Rádio (p. 344), Telefone (p. 317)



1 Pilha 2 Manipulador 3 Fio de linha sobre isoladores 4 Eletroíman do recetor acústico 5 Alavanca da armadura 6 Placa de terra

O telégrafo elétrico envia mensagens ao longo de um fio sob a forma de impulsos de corrente de uma pilha, ligados e desligados com um manipulador e lidos à chegada por um eletroíman. William Cooke e Charles Wheatstone patentearam um telégrafo de agulhas na Grã-Bretanha em 1837, Samuel Morse e Alfred Vail apresentaram o seu telégrafo registador em 1838, e trinta anos depois os cabos ligavam os continentes.

O que é

O telégrafo elétrico envia mensagens escritas sob a forma de sinais elétricos ao longo de um fio. Numa ponta, um operador abre e fecha um circuito; na outra, um aparelho mexe-se sempre que a corrente passa. As letras são soletradas com um código. Nos primeiros aparelhos de cinco agulhas de Cooke e Wheatstone, as agulhas apontavam para letras num quadro; os aparelhos de agulhas seguintes usavam um código de desvios para a esquerda e para a direita.

A gravura mostra a forma mais simples, a linha de um só fio usada com o código Morse: uma pilha, um manipulador, uma fila de postes e, na estação recetora, um recetor acústico. É o próprio solo que traz a corrente de volta.

Como funciona

A pilha é uma fila de elementos, cada um com uma placa de zinco e outra de cobre mergulhadas num líquido, ligados em série para que as tensões se somem. Um polo da pilha vai à terra por uma placa metálica enterrada, o outro ao manipulador. O manipulador é uma alavanca de latão com mola: ao carregar nela, fecha um contacto e liga a pilha à linha.

A corrente percorre o fio de linha, apoiado em isoladores de vidro para não se escapar pela madeira molhada dos postes, e atravessa as bobinas de um eletroíman na estação de destino. Daí desce ao solo por uma segunda placa de terra e volta à pilha através do terreno. Usar a terra como retorno poupa metade do fio.

Enquanto a corrente passa, as bobinas tornam-se um íman e atraem uma armadura de ferro presa a uma alavanca articulada, que bate num batente com um estalido. Quando se larga o manipulador, uma mola levanta a alavanca contra um segundo batente, com outro som. Um toque curto dá um ponto e um mais longo um traço, e os seus grupos representam letras e algarismos. Os primeiros aparelhos de Morse gravavam em relevo ou marcavam a tinta pontos e traços numa fita de papel em movimento, mas os operadores perceberam depressa que conseguiam ler os estalidos de ouvido.

Um manipulador Morse: carregar no botão fecha o contacto que está por baixo da alavanca.

Como construir

Um manipulador e um recetor acústico montam-se numa mesa e funcionam com uma pilha pequena, o que deixa ver bem o princípio.

Enrolar o eletroíman. Enrole cerca de 30 metros de fio de cobre esmaltado com 0,2 mm de diâmetro em camadas regulares à volta de um prego grande ou de um parafuso de ferro com uns 10 cm, deixando as duas pontas livres. Raspe o esmalte do último centímetro de cada ponta. Esta bobina tem cerca de 16 ohms, por isso uma bateria de 4,5 volts com três pilhas AA faz passar por ela menos de 0,3 amperes.

Fazer o recetor. Faça um furo numa tábua e cole nele o prego de pé, com a cabeça para cima, sem esmagar o enrolamento. Corte de uma lata de conserva uma tira de folha de flandres com cerca de 1 por 8 cm, lime as arestas e aparafuse uma ponta a um taco de madeira, de modo que a outra fique a poucos milímetros acima da cabeça do prego. Dobre-a para que volte para trás quando empurrada, e fixe um parafuso num pequeno suporte de madeira mesmo por cima da ponta livre: a tira bate no prego quando é atraída e no parafuso quando volta. Acerte a folga para 2 ou 3 mm, dobrando a tira até ser puxada com firmeza e mesmo assim voltar.

Fazer o manipulador. Aparafuse noutra tábua uma lâmina de latão flexível ou uma tira de lata dobrada, de modo que uma ponta fique um pouco levantada. Ponha por baixo da ponta livre um pionés ou um parafuso como contacto.

Ligar os fios. Ligue uma ponta da bobina a um borne de um suporte com três pilhas AA. Ligue o outro borne ao contacto fixo do manipulador, e a lâmina do manipulador à outra ponta da bobina. Entre as duas tábuas use fio de campainha comum, com uns 10 metros no máximo: um fio mais comprido ou mais fino acrescenta resistência e a tira pode deixar de ser puxada.

Transmitir. Carregue no manipulador: a tira bate no prego com um estalido e salta quando larga. Combine um código com um parceiro e envie palavras curtas.

> **Segurança.** Use só uma pilha pequena de poucos volts e nunca ligue nada à corrente da rede. Não deixe o manipulador carregado muito tempo, porque a bobina e as pilhas aquecem, e desligue a pilha quando terminar. Nunca ligue diretamente os dois bornes da pilha. As arestas da lata cortam: lime-as e use luvas.

História e evolução

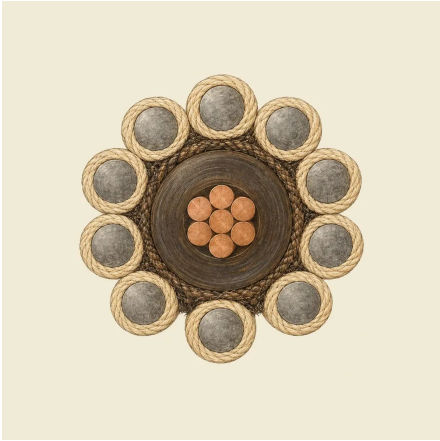
Antes da eletricidade, o telégrafo ótico de Chappe passava os sinais de torre em torre; uma mensagem podia ir de Paris a Lille em cerca de meia hora.

A palavra telégrafo designou primeiro o sistema ótico de Claude Chappe e dos irmãos, apresentado em 1791. A primeira linha, de Paris a Lille, abriu em 1794 e cobria cerca de 230 km. Em cada torre, os operadores punham braços de madeira em posições combinadas e liam a torre seguinte com uma luneta. No auge, a rede francesa chegou a quase 5000 km.

O telégrafo elétrico tornou-se possível quando as pilhas conseguiram dar uma corrente estável e os eletroímanes detetá-la. Na Grã-Bretanha, William Fothergill Cooke e Charles Wheatstone patentearam em junho de 1837 um telégrafo de agulhas, descrito com cinco agulhas, e experimentaram no mesmo ano um aparelho de agulhas entre as estações londrinas de Euston e Camden Town. Em 1839, o Great Western Railway instalou um dos seus telégrafos em cerca de 21 km de linha a partir de Paddington. Os aparelhos britânicos seguintes passaram a precisar só de uma ou duas agulhas.

Nos Estados Unidos, Samuel Morse, pintor e professor em Nova Iorque, trabalhou com Alfred Vail, que construía os instrumentos. Apresentaram o telégrafo a 6 de janeiro de 1838 na fundição da família Vail, perto de Morristown, com cerca de três quilómetros de fio. Em 1843, o Congresso votou 30 000 dólares para uma linha de Washington a Baltimore, e a 24 de maio de 1844 Morse transmitiu por ela as palavras «What hath God wrought» («O que Deus operou»). Por volta de 1850, as linhas chegavam a todas as cidades importantes a leste do Mississípi, e uma alcançou a Califórnia em 1861.

Um cabo submarino ligou Dover e Calais em 1851. O primeiro cabo atlântico, lançado em agosto de 1858, deixou de funcionar ao fim de poucas semanas; um duradouro chegou a terra em julho de 1866. Os engenheiros aprenderam a fazer passar várias mensagens pelo mesmo fio, primeiro uma em cada sentido ao mesmo tempo com o duplex aperfeiçoado por Joseph Stearns em 1868, depois duas em cada sentido com o quádruplex de Thomas Edison. O tráfego telegráfico britânico atingiu o máximo por volta de 1900, com cerca de 90 milhões de mensagens por ano. Depois, o telefone ficou com a maior parte do trabalho, e por volta de 1980 os satélites e os novos cabos tinham tornado obsoleta a telegrafia submarina.



Corte do cabo atlântico de grande profundidade de 1865-1866: sete fios de cobre em guta-percha, uma camada de juta alcatroada e dez fios de ferro revestidos de cânhamo.

Números-chave

Patente de Cooke e Wheatstone
Junho de 1837, cinco agulhas e seis fios

Primeira demonstração de Morse e Vail
6 de janeiro de 1838, Speedwell Iron Works (Nova Jérsia), com cerca de 3 km de fio

Linha Washington-Baltimore
30 000 dólares votados pelo Congresso em 1843; primeira mensagem a 24 de maio de 1844

Cabo transatlântico duradouro
Julho de 1866, depois de um cabo de 1858 ter falhado em poucas semanas

Rede ótica de Chappe no auge
Quase 5000 km de torres de sinais, substituídas por linhas elétricas na década de 1850

Fontes

1. Telegraph · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telegraph
2. Milestones: Demonstration of Practical Telegraphy, 1838 · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Milestones:Demonstration_of_Practical_Telegraphy,_1838
3. Cooke and Wheatstone · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Cooke_and_Wheatstone
4. Submarine cable section (Atlantic cable, 1865) · Royal Museums Greenwich https://rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-6204
5. Sample of the 1865/66 Transatlantic Telegraph Cable · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co34219/sample-of-the-1865-66-transatlantic-telegraph-cab-cable
6. Modern Practice of the Electric Telegraph (appendix and notes) · Frank L. Pope, 1869 (insulators.info) https://www.insulators.info/books/mpet/chap10.htm
7. Insulator Tests, The Journal of the Telegraph, 16 December 1872 · Western Union (insulators.info) https://reference.insulators.info/publications/view/?id=11419
8. Resistivity and temperature coefficient at 20 C · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html
9. Copper Wire Tables (Handbook 100) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
10. Electromagnet · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnet

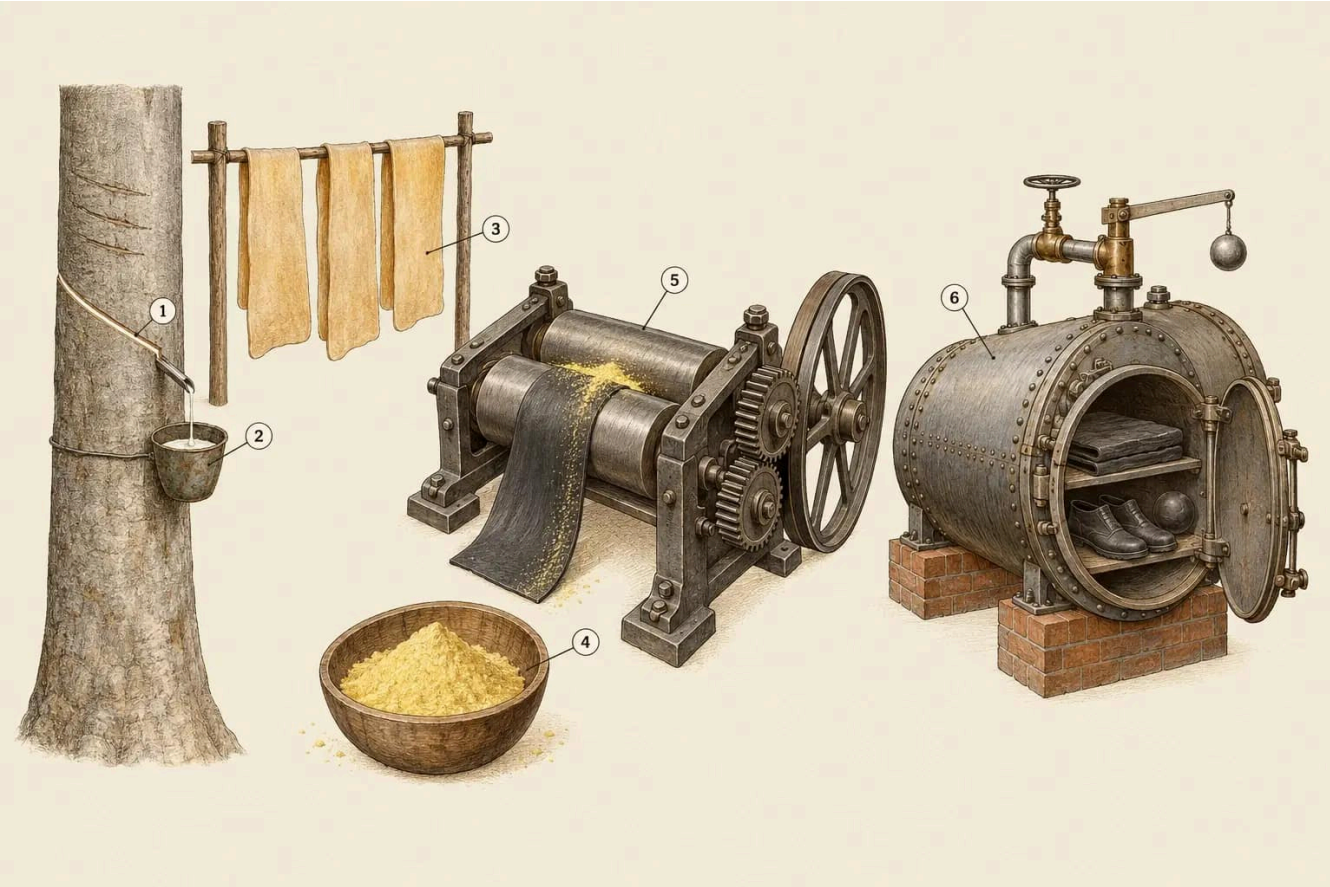
Factos verificados em 2026-10-12

Borracha vulcanizada

Seiva tornada resistente pelo enxofre

1839 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Domínio do fogo (p. 9)



1 Corte de sangria 2 Tigela de látex 3 Folhas de borracha crua 4 Enxofre 5 Misturador de dois cilindros 6 Autoclave de vulcanização

A borracha vulcanizada é borracha cujas longas moléculas foram ligadas entre si, primeiro aquecendo borracha natural com enxofre: assim mantém-se elástica com calor e com frio em vez de ficar pegajosa ou quebradiça. Charles Goodyear nos Estados Unidos e Thomas Hancock na Grã-Bretanha acertaram o processo no início da década de 1840, e com ele a borracha passou a servir para pneus, mangueiras, vedantes e calçado.

O que é

A borracha natural vem do látex, um líquido leitoso que escorre de cortes feitos na casca de certas árvores tropicais, hoje sobretudo a seringueira, Hevea brasiliensis. Seca e prensada, é impermeável e elástica, mas a borracha crua fica mole e pegajosa num dia quente, rígida e gretada com a geada, e deforma-se aos poucos sob carga.

A vulcanização corrige estes defeitos. A borracha é misturada com um pouco de enxofre e aquecida. O resultado é o material dos pneus, mangueiras, tapetes rolantes, vedantes, botas e elásticos, que volta à sua forma numa larga

gama de temperaturas.

Como funciona

A borracha é feita de moléculas em cadeia muito compridas, cada uma formada por milhares de pequenas unidades. Na borracha crua, as cadeias estão emaranhadas como esparguete cozido. Quando se puxa, esticam-se; quando se larga, voltam a enrolar-se, e daí vem a elasticidade. Mas nada as prende umas às outras: sob uma tração prolongada ou com calor, deslizam umas sobre as outras, e o material escorre e cola.

Na Mesoamérica fazia-se a borracha misturando o látex de Castilla elastica com o suco de uma trepadeira da família das campainhas.

À temperatura de vulcanização, átomos de enxofre fixam-se em certos pontos das cadeias e formam pontes entre cadeias vizinhas, de um ou vários átomos de enxofre cada. Algumas pontes por cadeia transformam o emaranhado numa única rede solta. Ainda pode esticar muito, porque os troços de cadeia entre pontes se podem desenrolar, mas já não escorre e volta à forma quando se larga.

O número de pontes define a dureza. Uma borracha macia só precisa de uma pequena proporção de enxofre. Com muito mais, a rede fica tão densa que o produto, a ebonite ou borracha dura, é rígido e quebradiço. Aquecida só com enxofre, a borracha vulcaniza devagar; desde o início do século XX, os aceleradores, ativados por óxido de zinco e ácido esteárico, tornam a reação mais rápida e regular.

Como se fabrica

Goodyear contou ter descoberto o efeito quando uma mistura de borracha e enxofre tocou num fogão quente e carbonizou sem derreter.

Os artigos de borracha fazem-se em fábricas, com prensas aquecidas, salas de mistura ventiladas e extração de fumos. O enxofre quente pega fogo com facilidade e, ao arder, liberta dióxido de enxofre, tóxico; as misturas em cura libertam fumos irritantes e os aceleradores modernos irritam a pele e os pulmões: vulcanizar não é tarefa para casa. Os passos habituais são estes.

Sangrar. De dois em dois dias, mais ou menos, retira-se uma fina lasca de casca ao longo de um corte inclinado, fundo o bastante para abrir os vasos do látex sem chegar ao câmbio, a fina camada de crescimento por baixo da casca. O látex corre pelo corte até uma tigela.

Coagular. O látex é diluído e coalhado com um ácido fraco, como o fórmico ou o acético; a borracha separa-se como uma coalhada mole. É prensada em folhas que se secam, muitas vezes ao fumo, que também afasta o bolor.

Misturar. A borracha crua é trabalhada entre cilindros pesados até amolecer, e incorporam-se o enxofre, as cargas e os aceleradores.

Moldar e curar. A mistura é moldada, extrudida ou espalhada sobre tecido, e depois aquecida numa prensa ou numa autoclave a vapor até se formarem as pontes.

Uma comparação simples e qualitativa mostra a mudança. Corte um elástico para obter uma tira e recorte outra com a mesma largura, espessura e comprimento em crepe cru, não vulcanizado, vendido para trabalhos manuais

(algumas solas de crepe são vulcanizadas: confirme no rótulo). Pendure o mesmo pequeno peso em cada uma durante uma noite, retire-o e espere dez minutos: o elástico costuma voltar quase ao comprimento, enquanto a tira crua tende a ficar mais comprida. Depois deixe as duas uma hora no congelador, aqueça-as em água a cerca de 40 °C e compare a rigidez e o quanto colam. Os produtos têm cargas diferentes, por isso veja o resultado como uma tendência.

> **Segurança.** Não aqueça enxofre nem tente vulcanizar borracha em casa: os fumos são tóxicos, e o enxofre fundido queima e pode arder. Na fábrica, os cilindros misturadores podem esmagar e puxar as mãos, e as prensas e autoclaves estão quentes e sob pressão: exigem máquinas protegidas e operadores formados. A borracha natural e o látex causam alergias em algumas pessoas: quem for alérgico ao látex não deve mexer nas amostras, e os outros devem usar luvas de nitrilo. Verifique a temperatura da água antes de lá pôr as mãos.

História e evolução

Na Mesoamérica já se processava a borracha por volta de 1600 a.C. Misturava-se o látex de Castilla elastica com o suco espremido de uma trepadeira da família das campainhas, que o tornava mais elástico, e faziam-se bolas de até 7 kg para um jogo ritual, além de solas de sandálias e atilhos. Observadores espanhóis descreveram a borracha no século XVI. Na Europa e na América do Norte o seu uso espalhou-se no início do século XIX, mas os objetos de borracha crua amoleciam no verão e gretavam no inverno.

Em 1837, Thomas Hancock patenteou uma máquina para amassar a borracha crua, e na década de 1830 várias pessoas verificaram que o enxofre a tornava menos pegajosa. Charles Goodyear, um negociante de ferragens cheio de dívidas, que voltou a perder os seus financiadores com a crise de 1837, experimentou tratamentos durante anos. Em 1839, segundo o seu relato, um pedaço de borracha misturado com enxofre tocou num fogão quente e carbonizou na borda sem derreter. Precisou de cerca de cinco anos para tornar o processo fiável. Na Grã-Bretanha, Hancock viu em 1842 amostras da borracha sulfurada norte-americana e criou um processo próprio; pediu uma patente de vulcanização a 21 de novembro de 1843, e a patente norte-americana n.º 3633 de Goodyear veio a 15 de junho de 1844. O nome, tirado de Vulcano, deus romano do fogo, foi sugerido por um amigo de Hancock, William Brockedon. Goodyear passou anos em processos de patentes e morreu em 1860 sem ter lucrado com a descoberta.

A procura de pneus, correias e isolamentos provocou uma corrida à borracha silvestre da bacia amazónica. Em 1876, Henry Wickham enviou cerca de 70 000 sementes de seringueira do Brasil para os jardins de Kew, em Londres, e as plântulas foram mandadas para as colónias britânicas da Ásia. Em 1900, as plantações asiáticas produziam cerca de 4 toneladas, contra umas 27 000 recolhidas na Amazónia; em 1916 já forneciam a maior parte da borracha do mundo. Muitas borrachas sintéticas, obtidas mais tarde do petróleo, vulcanizam-se com enxofre de forma muito parecida; outras, como o neopreno, curam-se com óxidos metálicos.

Fruto, sementes e folha da seringueira: cada cápsula guarda três sementes, como as que Wickham enviou para Kew em 1876.

Números-chave

Borracha processada na Mesoamérica
Por volta de 1600 a.C.; as bolas do jogo ritual pesavam até 7 kg

Teor de borracha do látex fresco
Cerca de 30 a 40%, o resto sobretudo água

Patente britânica de Hancock
Pedida a 21 de novembro de 1843

Patente norte-americana de Goodyear
N.º 3633, 15 de junho de 1844

Sementes de seringueira enviadas por Wickham
Cerca de 70 000, do Brasil para Kew em 1876

Fontes

1. Charles Goodyear (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/charles-goodyear/
2. Rubber processed in ancient Mesoamerica, MIT researchers find · MIT News https://news.mit.edu/1999/rubber-0714
3. Natural rubber · Transport Information Service (GDV) https://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm
4. The seeds of discord · Revista Pesquisa FAPESP https://revistapesquisa.fapesp.br/en/the-seeds-of-discord/
5. Sulfur vulcanization · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_vulcanization
6. Thomas Hancock (inventor) · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Hancock_(inventor)
7. Hevea brasiliensis (rubber tree) fact sheet · EAFRINET, National Museums of Kenya and Lucidcentral https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Hevea_brasiliensis_%28Rubbertree%29.htm

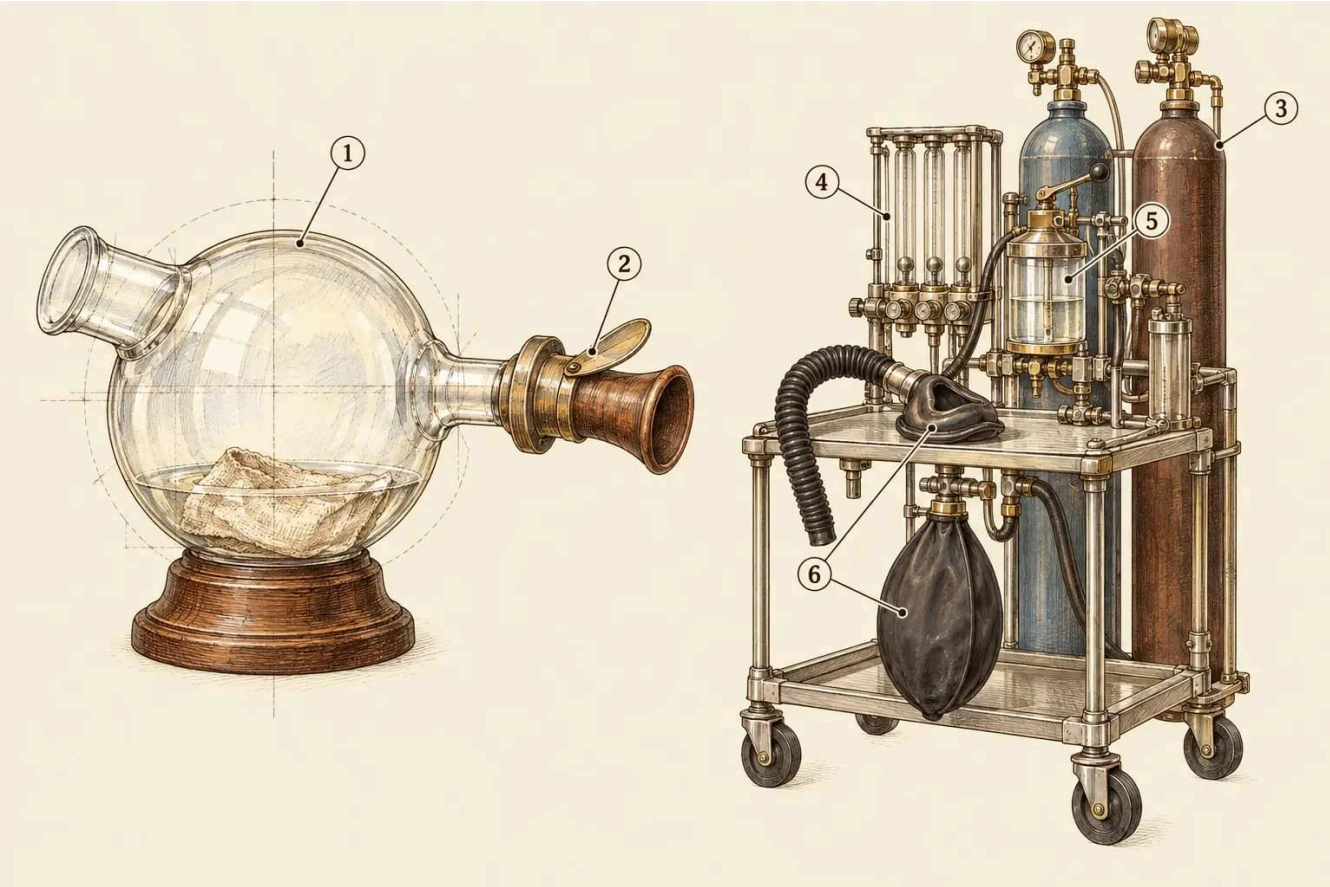
Factos verificados em 2026-10-12

Anestesia

Operar sem dor nem consciência

1846 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Higiene e antissepsia (p. 299), Vidro (p. 132)



1 Globo de vidro do inalador de éter de Morton 2 Bocal e válvula 3 Garrafas de gás 4 Fluxómetros de vidro 5 Frasco vaporizador 6 Balão reservatório e máscara

A anestesia é a prática médica que elimina a dor, e muitas vezes a consciência, para que se possa operar. Desde uma demonstração pública com éter em Boston em 1846, anestesistas formados, a monitorização e o oxigénio tornaram-na rotina, e a par da antissepsia fez da cirurgia um tratamento comum em vez de um último recurso.

O que é

A anestesia elimina a dor, e na sua forma geral também a consciência, para que um cirurgião possa operar. A anestesia geral é uma inconsciência controlada e reversível. A anestesia regional tira a sensibilidade a uma grande parte do corpo, como um braço ou tudo abaixo da cintura, enquanto o doente se mantém acordado. A anestesia local adormece uma pequena zona, o bastante para coser uma ferida ou tratar um dente.

A prancha põe dois aparelhos lado a lado. À esquerda, o inalador de vidro com que William Morton administrou éter em Boston em 1846. À direita, um aparelho de anestesia do início do século XX: garrafas de gás comprimido,

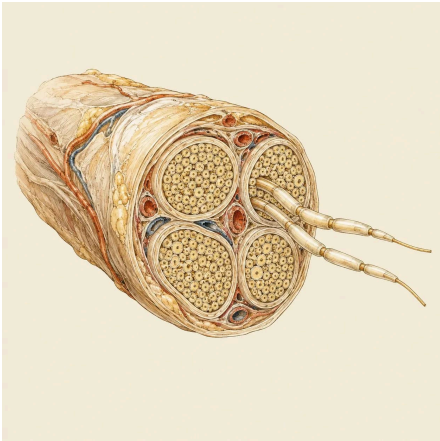
fluxómetros de vidro, um frasco onde o gás se carrega com o vapor de um agente volátil, e o balão e a máscara por onde o doente respira.

Como funciona

Os anestésicos gerais chegam ao cérebro pelo sangue, inalados pelos pulmões ou injetados numa veia. Muitos reforçam o efeito do GABA, o principal sinal de travagem do cérebro, de modo que os neurónios disparam menos. A consciência apaga-se e não se formam memórias. Os pormenores ainda são discutidos.

Conforme o fármaco e o doente, essa depressão atinge também os centros que mantêm o corpo a funcionar. A respiração pode tornar-se superficial ou parar. Os músculos da garganta relaxam, e a língua pode cair para trás e tapar as vias aéreas. Os reflexos da tosse e da deglutição enfraquecem, e o conteúdo do estômago pode subir até aos pulmões. A tensão arterial desce muitas vezes. Por isso o anestesista mantém as vias aéreas abertas, dá oxigénio, muitas vezes respira pelo doente através de um tubo ou de uma máscara e ajusta os fármacos minuto a minuto.

Os anestésicos locais atuam nos próprios nervos. Um sinal nervoso é uma onda elétrica que percorre uma fibra, levada por iões de sódio que entram por minúsculos canais da sua membrana. O fármaco bloqueia esses canais: a onda extingue-se onde ele está e ao cérebro não chega nada do que fica para lá. À volta de um nervo, tira a sensibilidade a todo o seu território; no líquido que envolve as raízes nervosas da parte baixa das costas, à metade inferior do corpo. As células do coração e do cérebro usam o mesmo tipo de canal, e por isso um excesso de anestésico local no sangue pode provocar convulsões ou parar o coração.



Um nervo é um cabo de milhares de fibras; o anestésico local silencia cada uma das que alcança.

Como se torna segura

Esta secção descreve como os hospitais organizam a anestesia. Não é um procedimento para seguir fora deles.

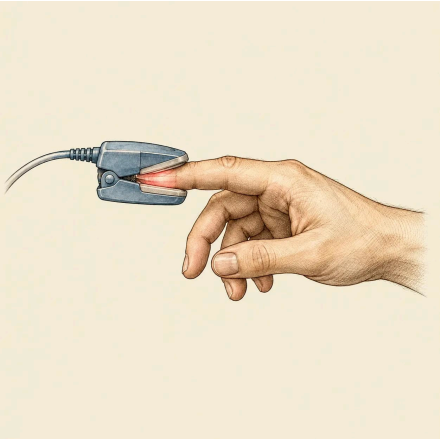
Uma equipa formada. Conforme o país, a anestesia é conduzida por um médico formado durante anos ou por enfermeiros especializados. Ficam junto do doente desde o primeiro fármaco até a respiração e a consciência terem regressado em segurança.

A consulta prévia. A equipa pergunta por doenças, medicamentos, alergias e anestesias anteriores, examina a boca, o pescoço, o coração e os pulmões, e escolhe com o doente entre anestesia geral, regional ou local.

O estômago vazio. Antes de uma operação programada, o doente deixa de comer algumas horas antes, muitas vezes cerca de seis após uma refeição ligeira, o que reduz o risco de o conteúdo do estômago passar para os pulmões. O hospital fixa os horários exatos para cada doente.

Material verificado antes de cada doente. Oxigénio com uma garrafa de reserva, aspiração, dispositivos para manter as vias aéreas abertas, um meio de ventilar à mão se o aparelho falhar e medicamentos de reanimação. Um hospital de campanha trabalha com equipamento mais simples, mas não pode dispensar nenhum destes elementos.

Monitorização contínua. O oxímetro de pulso mostra a saturação de oxigénio do sangue. Outros aparelhos acompanham o ritmo cardíaco, a tensão arterial e o dióxido de carbono de cada expiração, que mostra que o ar



A pinça faz passar luz vermelha e infravermelha pelo dedo e estima que parte da hemoglobina transporta oxigénio.

chega de facto aos pulmões. Nenhum substitui o anestesista que observa o doente.

A lista de verificação. Em 2008 a Organização Mundial da Saúde lançou uma lista de verificação de segurança cirúrgica. A equipa faz uma pausa antes da anestesia para confirmar o doente, a operação, as alergias, uma via aérea difícil e um oxímetro a funcionar, e outra vez antes da incisão e antes de o doente sair do bloco. Num estudo em oito hospitais, as mortes após cirurgia major desceram de 1,5 % para 0,8 %.

O recobro. O doente acorda numa sala de recobro onde os enfermeiros vigiam a respiração, o oxigénio, a dor e as náuseas. Depois de uma anestesia geral, alguém tem de o levar a casa, e não deve conduzir durante pelo menos 24 horas.

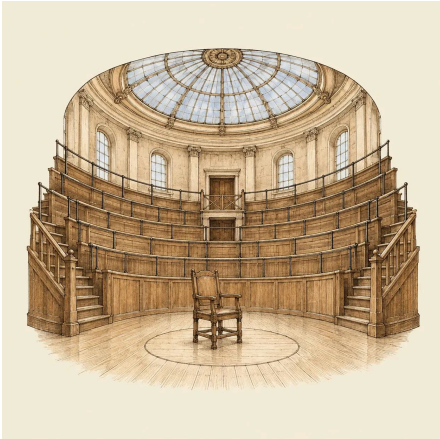
> **Segurança.** Os gases e medicamentos anestésicos nunca devem ser usados fora de cuidados médicos qualificados. Com muitos destes fármacos, a dose que tira a consciência não está longe da que para a respiração ou os reflexos de proteção, e a diferença varia de pessoa para pessoa e de minuto para minuto. Sem alguém treinado para manter as vias aéreas abertas e dar oxigénio, e sem monitorização nem equipamento de reanimação, uma pessoa inconsciente pode morrer em poucos minutos. Inalar gases ou solventes pelos seus efeitos já matou muita gente, e o éter é altamente inflamável. Quem tem uma dor forte ou precisa de ser operado deve ser levado a um hospital.

História e evolução

Antes da anestesia, os cirurgiões contavam com o álcool, o ópio e a rapidez. A 13 de outubro de 1804, no Japão, Hanaoka Seishū retirou um tumor da mama a uma mulher que tinha engolido a sua mistura de ervas. O Japão estava então fechado ao mundo, e o seu trabalho ficou desconhecido no estrangeiro.

Em 1800 Humphry Davy sugeriu que o óxido nitroso poderia ser usado em cirurgia. Em dezembro de 1844 o dentista Horace Wells mandou arrancar um dente sob esse gás, mas a sua demonstração em Boston, em janeiro de 1845, falhou quando o doente gritou. Na Geórgia, Crawford Long já tinha operado com éter a 30 de março de 1842, mas só publicou em 1849.

A prancha toma como data o 16 de outubro de 1846. No Massachusetts General Hospital, Morton deu éter a Gilbert Abbott enquanto o cirurgião John Collins Warren lhe retirava um tumor do pescoço. A notícia correu depressa, e em poucos meses o éter era usado na Europa. Em Edimburgo, James Young Simpson experimentou o clorofórmio a 4 de novembro de 1847: atuava mais depressa e não ardia, mas a margem entre o suficiente e o excesso era estreita. John Snow estudou as suas doses e em 1853 administrou-o à rainha Vitória no parto do príncipe Leopoldo. A anestesia permitiu operações mais longas, mas as feridas continuavam a infetar até à chegada da antissepsia, no fim da década de 1860.



A cirurgia ensinava-se em anfiteatros de bancadas muito inclinadas, como o de Boston, hoje chamado Ether Dome.

Em 1884 Carl Koller mostrou que a cocaína tirava a sensibilidade ao olho, e em 1898 August Bier realizou em Kiel a primeira anestesia raquidiana. A cocaína era tóxica e viciante, e seguiram-se fármacos sintéticos mais seguros: a procaína em 1905, a lidocaína nos anos 1940. O século XX trouxe os anestésicos intravenosos e os relaxantes musculares, a intubação

tornou-se rotina, e a oximetria de pulso, descrita por Takuo Aoyagi em 1974, espalhou-se pelos blocos operatórios nos anos 1980.

Números-chave

Dia do éter
16 de outubro de 1846, Massachusetts General Hospital, Boston

Cocaína no olho
Comunicação de Koller lida em Heidelberg a 15 de setembro de 1884

Lista de verificação da OMS
19 itens; em oito hospitais-piloto, as mortes desceram de 1,5 % para 0,8 % (2009)

A operação de Hanaoka
13 de outubro de 1804, Japão, com um anestésico tomado pela boca

Oximetria de pulso
Princípio descrito por Takuo Aoyagi em 1974

Fontes

1. Ether & Ether Dome History · Massachusetts General Hospital, Treadwell Virtual Library https://libguides.massgeneral.org/mghhistory/ether
2. Crawford Long (Scientist of the Day) · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/crawford-long
3. The surprising and long story of the first use of ether in surgery · The Conversation https://theconversation.com/the-surprising-and-long-story-of-the-first-use-of-ether-in-surgery-113340
4. Horace Wells (1815–1848) and William TG Morton (1819–1868): pioneers in anaesthesiology · South African Dental Journal, vol. 75 no. 2 (2020) https://scielo.org.za/pdf/sadj/v75n2/11.pdf
5. Davy, Researches, chemical and philosophical, chiefly concerning nitrous oxide (1800) · Heirs of Hippocrates, University of Iowa Libraries https://heirs.lib.uiowa.edu/record.php?id=1338.5
6. History of the Japanese Society of Anesthesiologists · Japanese Society of Anesthesiologists https://anesth.or.jp/users/english/about_jsa/history
7. A great leap forward: James Young Simpson · Royal College of Surgeons of Edinburgh https://archiveandlibrary.rcsed.ac.uk/special-collections/the-battle-for-midwifery/a-great-leap-forward-james-young-simpson
8. John Snow: anesthesia · UCLA Fielding School of Public Health https://epi-snow.ph.ucla.edu/Stream4_Snowlife_d.html
9. Cocaine: what is the crack? A brief history of the use of cocaine as an anesthetic · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4335732/
10. Cocaine and self-experimentation · Association of Anaesthetists, Heritage Centre https://anaesthetists.org/Home/Heritage-centre/Learning/Heritage-Centre-blog-celebrating-75-years-of-Anaesthesia/Cocaine-and-Self-experimentation-a-blog-post-from-the-Heritage-Centre
11. Sodium channels and local anesthetics: old friends with new perspectives (Körner et al., 2022) · Frontiers in Pharmacology https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2022.837088/full
12. How general anesthetics work (Hibbs lab, Nature 2020) · UT Southwestern Medical Center https://www.utsouthwestern.edu/ctplus/stories/2020/general-anesthetics-benzos.html
13. General anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/general-anaesthesia/
14. Local anaesthesia · NHS https://www.nhs.uk/conditions/local-anaesthesia/
15. Pulse oximetry, Takuo Aoyagi memorial issue (Journal of Anesthesia, 2021) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8327306/
16. Safe surgery: tools and resources · World Health Organization https://www.who.int/teams/integrated-health-services/patient-safety/research/safe-surgery/tool-and-resources
17. RCSI endorses the World Health Organisation's second Global Patient Safety Challenge (June 2008) · RCSI University of Medicine and Health Sciences https://www.rcsi.com/dublin/news-and-events/news/news-article/2008/06/rcsi-endorses-the-world-health-organisations-second-global-patient-safety-challenge
18. Implementation manual: WHO surgical safety checklist 2009 · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/9789241598590
19. Simple surgical checklist cuts deaths 40 percent · Harvard Medical School https://hms.harvard.edu/news/simple-surgical-checklist-cuts-deaths-40-percent

Factos verificados em 2026-10-14

Higiene e antissepsia

Cortar o caminho aos micróbios

1847 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Sabão (p. 93), Microscópio (p. 214), Água potável (p. 35), Destilação (p. 173)

Conduz a: Anestesia (p. 294), Penicilina (p. 356)

1 Bacia e jarro 2 Caldeira do pulverizador de ácido fénico 3 Bico e névoa de ácido fénico
4 Tampa aparafusada, manómetro e válvula de segurança 5 Cesto de instrumentos no vapor 6 Queimador sob a autoclave

A higiene e a antissepsia cortam os caminhos que os micróbios percorrem de uma pessoa para outra: mãos, instrumentos, pensos e água. Lavar com sabão, manter a água longe dos esgotos, usar substâncias que matam os germes nas feridas e esterilizar as ferramentas com calor tornaram o parto e a cirurgia muito mais seguros na segunda metade do século XIX.

O que é

Os micróbios passam de uma pessoa para outra por caminhos que ninguém vê: uma mão que tocou num doente e depois numa ferida, uma faca limpa no avental, água tirada a jusante de uma latrina. A higiene e a antissepsia são os hábitos e as ferramentas que cortam esses caminhos. O sabão e a água retiram os germes. O calor e certas substâncias químicas matam-nos. A assepsia, no sentido dos cirurgiões, mantém-nos longe da ferida desde o início.

A prancha reúne três etapas desta ideia: a bacia colocada à entrada de uma sala de partos de Viena em 1847, o pulverizador de ácido fénico que Joseph Lister usava na década de 1870 e a autoclave a vapor que, a partir da década de 1880, esterilizou instrumentos e pensos com calor em vez de produtos químicos.

Como funciona

Uma bactéria é uma única célula com poucos milésimos de milímetro; um vírus é muito mais pequeno e só se multiplica dentro de células vivas. Uns e outros viajam na pele, em gotículas, no pó, nos alimentos, na água ou nas ferramentas, e as fezes transportam-nos em quantidades enormes. Uma infeção precisa de uma fonte, de um transportador e de uma porta de entrada, como a boca ou uma ferida. Lavar as mãos entre um doente e outro elimina o transportador, e o germe não passa dali.

O sabão atua sobretudo arrastando os micróbios. Cada molécula agarra-se à água por uma ponta e à gordura pela outra, por isso solta a película gordurosa da pele, com os micróbios que lá estão presos, e leva-a no enxaguamento. Além disso, rompe os vírus envolvidos numa camada gordurosa, como o da gripe.

Esfregar com os dedos entrelaçados chega à pele entre eles, um dos sítios mais esquecidos.

O calor mata ao desdobrar de vez as proteínas do micróbio, tal como coagula a clara do ovo. Uma fervura forte mata as bactérias comuns, os vírus e os parasitas. Algumas bactérias, entre elas as do tétano e do botulismo, conseguem fechar-se em esporos de revestimento duro que resistem à fervura. O vapor sob pressão de uma autoclave, mantido a 121 °C ou mais durante tempo suficiente e em contacto com toda a carga, mata-os também: é a esterilização em sentido estrito.

Os antissépticos usam-se em tecido vivo e os desinfetantes em objetos. O álcool desdobra as proteínas, e é por isso que as soluções para as mãos têm pelo menos 60% dele. Os compostos de cloro, como o cloreto de cal usado em Viena ou a lixívia de hoje, oxidam tudo o que tocam na célula. O ácido fénico de Lister matava germes, mas também lesava os tecidos dos doentes e as mãos dos cirurgiões, e foi abandonado. A sujidade e o sangue protegem os germes de todas estas substâncias, por isso limpa-se sempre primeiro.

Como fazer

Trata-se de hábitos do dia a dia recomendados pelas autoridades de saúde pública, não de atos médicos.

Lavar bem as mãos. Molhe-as com água limpa, corrente ou vertida, e faça espuma com sabão. Esfregue palma com palma, cada palma sobre as costas da outra mão com os dedos entrelaçados, de novo palma com palma com os dedos entrelaçados, as costas dos dedos, cada polegar rodado dentro da palma oposta e as pontas dos dedos contra a palma. A sequência da OMS dura 40 a 60 segundos; os CDC norte-americanos pedem pelo menos 20 segundos de fricção. Enxague e seque com uma toalha limpa ou ao ar.

Saber quando. Depois de ir à casa de banho ou de mudar uma fralda, antes de cozinhar e de comer, antes e depois de tratar de um doente ou de uma ferida, e depois de tocar em animais ou no lixo.

Separar a água dos dejetos. Abra as latrinas mais abaixo no terreno do que qualquer poço ou nascente e a pelo menos 30 m, mais longe em cascalho ou rocha fissurada, com o fundo da fossa pelo menos 1,5 m acima do nível mais alto do lençol freático na época das chuvas. Estas distâncias são apenas um ponto de partida: peça ao serviço local de saúde ou de águas que verifique o terreno e o sentido em que corre a água subterrânea.

Conte os vinte minutos a partir do momento em que a água ferve com força e não junte mais nada.

Ferver ferramentas e panos. Lave primeiro com sabão a tesoura, a pinça e os panos, porque o calor atravessa mal o sangue seco e a gordura. Cubra-os de água numa panela com tampa, leve a fervura forte e conte 20 minutos a partir daí, sem juntar nada. Deixe arrefecer, retire os objetos com uma tenaz fervida ao mesmo tempo e coloque-os logo numa caixa com tampa também fervida. Servem para tirar uma farpa ou cortar um penso. A fervura desinfeta, mas não esteriliza: agulhas e tudo o que entra no corpo devem vir estéreis e selados de uma farmácia ou de um centro de saúde.

Limpar um corte pequeno. Lave as mãos e depois passe o corte por água limpa da torneira ou por água fervida já fria até não restar sujidade, e lave com sabão a pele à volta. Seque com pequenos toques e cubra com uma compressa esterilizada ou um penso rápido da farmácia.

> **Segurança.** Não faça antissépticos nem desinfetantes em casa e nunca misture produtos de limpeza: a lixívia com ácidos ou amoníaco liberta um gás tóxico. Nada do que aqui se descreve deve ser engolido ou injetado. A água a ferver e o vapor queimam: mantenha as crianças afastadas da panela. Ligue para a emergência se uma hemorragia não parar ou o corte for muito fundo. Procure cuidados médicos depressa perante um corte comprido ou de bordos afastados, uma queimadura, qualquer mordedura de animal ou de pessoa, uma ferida com terra, ou se uma ferida ficar vermelha, inchada ou mais dolorosa, deitar pus ou vier acompanhada de febre. Pode ser necessária a vacina antitetânica.

História e evolução

Na maternidade de Viena, a clínica onde se formavam os estudantes de medicina perdia cerca de uma mãe em cada dez com febre puerperal; a das parteiras, cerca de uma em cada trinta. Em março de 1847 morreu Jakob Kolletschka, colega do jovem médico Ignaz Semmelweis, de um corte sofrido durante uma autópsia, com os mesmos sinais das parturientes. Semmelweis concluiu que os estudantes levavam «partículas cadavéricas» da sala de autópsias para a sala de partos. A partir de maio de 1847, a data que esta prancha adota, obrigou-os a lavar as mãos numa solução de cloreto de cal, e em 1848 a mortalidade da sua clínica desceu para 1,27%. Muitos colegas rejeitaram a sua explicação.

Em 1854, John Snow ligou um surto de cólera em Londres a uma única bomba de água na rua. No hospital militar de Scutari, onde Florence Nightingale tratava os feridos, a mortalidade dos soldados internados chegou a 42% em fevereiro de 1855 e caiu depois de os esgotos serem reparados e as enfermarias arejadas.

No início da década de 1860, Louis Pasteur mostrou que um caldo fervido num balão de gargalo comprido e curvo se mantinha límpido, enquanto o caldo exposto ao pó se estragava: eram germes vivos que causavam a putrefação. Em Glasgow, Joseph Lister concluiu que os germes também faziam supurar as feridas. Em agosto de 1865 tratou com ácido fénico a fratura exposta da perna de um rapaz, que sarou sem infeção; publicou o método em 1867. Entre os seus amputados, as mortes desceram de 16 em 35 para 6 em 40, números que ele próprio admitia serem pequenos.

O balão de pescoço de cisne de Pasteur: o pó fica preso na curva e o caldo mantém-se límpido.

Charles Chamberland, colaborador de Pasteur, concebeu em 1879 um esterilizador a vapor, e em 1886 Ernst von Bergmann, em Berlim, passou a usar pensos esterilizados a vapor. Os cirurgiões passaram a manter os

germes fora da ferida com instrumentos e batas esterilizados e, a partir da década de 1890, com luvas de borracha. As diretrizes da OMS de 2009 sobre higiene das mãos fixam cinco momentos em que quem cuida de um doente deve limpar as mãos.

Números-chave

Lavagem das mãos em Viena

A partir de maio de 1847; a mortalidade na clínica dos médicos desceu de cerca de 10% (1840-1846) para 1,27% em 1848

Amputações de Lister

16 mortes em 35 casos antes da antissepsia, 6 em 40 depois

Higiene das mãos (OMS)

40-60 s com água e sabão, 20-30 s com solução alcoólica

Esterilização a vapor (CDC)

Material embalado: 121 °C durante pelo menos 30 min num esterilizador por gravidade, ou 132 °C durante 4 min num de pré-vácuo

Ferver ferramentas

20 min em fervura forte desinfetam, mas não matam com segurança os esporos bacterianos

Fontes

1. Ignaz Phillip Semmelweis' studies of death in childbirth (I. Loudon, Journal of the Royal Society of Medicine, 2013) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3807776
2. Pioneering Hand Hygiene: Ignaz Semmelweis and the Fight Against Puerperal Fever (Cureus, 2024) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11568873/
3. Joseph Lister (1827-1912): A Pioneer of Antiseptic Surgery (Cureus, 2022) · PubMed Central https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9854334/
4. Statistics and the British controversy about the effects of Joseph Lister's system of antisepsis for surgery, 1867-1890 (U. Tröhler) · James Lind Library https://www.jameslindlibrary.org/articles/statistics-and-the-british-controversy-about-the-effects-of-joseph-listers-system-of-antisepsis-for-surgery-1867-1890/
5. Charles Chamberland, l'inventeur d'outils de stérilisation · Institut Pasteur https://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/notre-histoire/charles-chamberland-inventeur-outils-sterilisation
6. Bergmann, Ernst von · Deutsche Biographie https://www.deutsche-biographie.de/pnd118656104.html
7. Florence Nightingale: the Lady with the Lamp · National Army Museum https://www.nam.ac.uk/explore/florence-nightingale-lady-lamp
8. John Snow, cholera and the Broad Street pump · London Museum https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/john-snow-cholera-broad-street-pump/
9. Hand Hygiene: Why, How & When? · World Health Organization https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/Hand_Hygiene_Why_How_and_When_Brochure.pdf
10. About handwashing · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/about/index.html
11. Handwashing facts · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/clean-hands/data-research/facts-stats
12. Steam sterilization · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/steam-sterilization.html
13. Clostridium botulinum · AGES, Austrian Agency for Health and Food Safety https://www.ages.at/en/human/disease/pathogens-from-a-to-z/clostridium-botulinum
14. A Community Guide to Environmental Health: Disinfecting with heat · Hesperian Health Guides https://en.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Disinfecting_with_Heat
15. Excreta, pit for stools and vomit · Médecins Sans Frontières https://medicalguidelines.msf.org/en/viewport/CHOL/english/appendix-14-excreta-pit-stools-and-vomit-32409860.html
16. Cuts and grazes · NHS https://www.nhs.uk/conditions/cuts-and-grazes/

Factos verificados em 2026-10-14

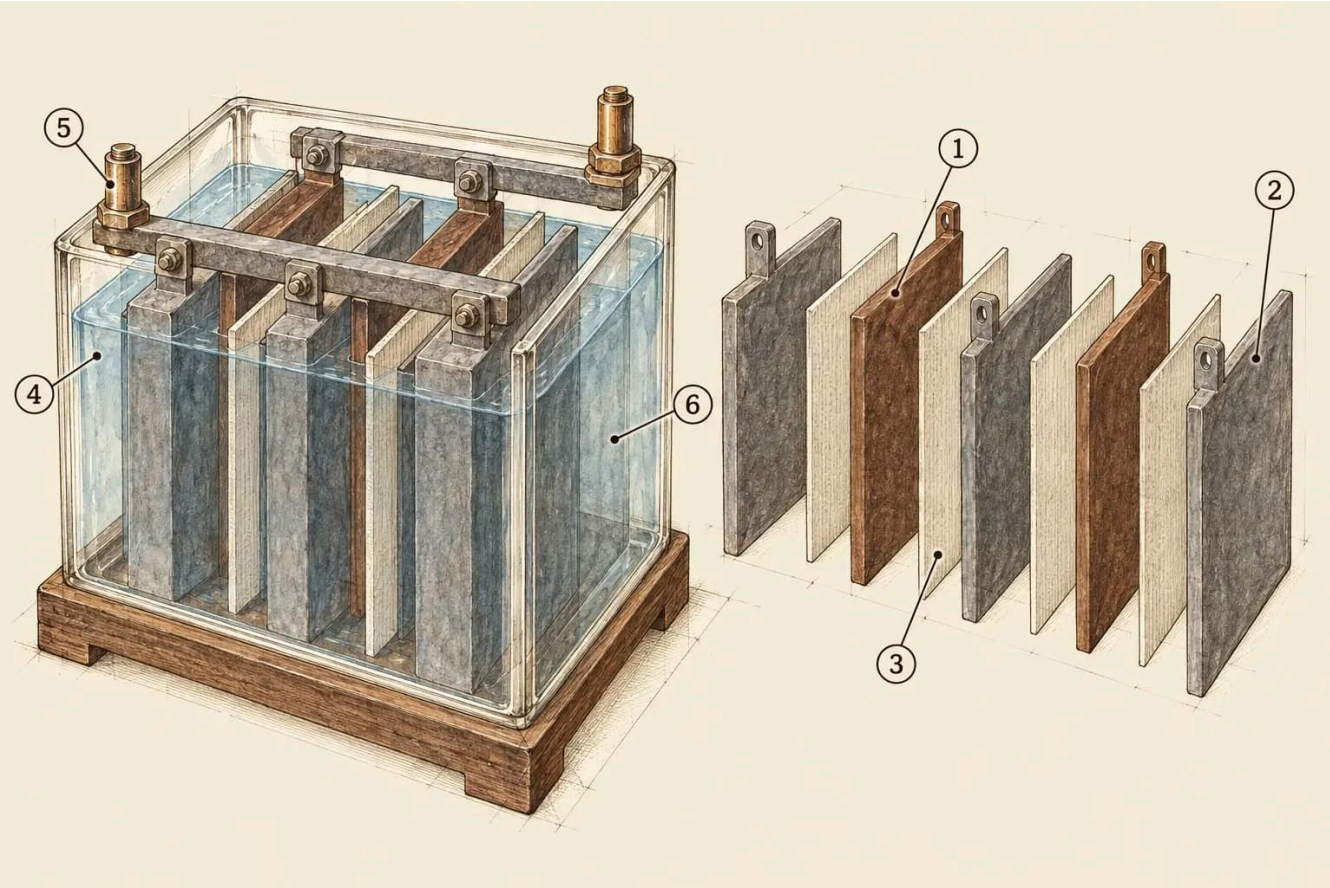
Bateria de chumbo-ácido

Eletricidade guardada em chumbo e ácido

1859 · Era industrial · Ciência e indústria

Requer: Pilha elétrica (p. 240), Gerador elétrico (p. 274)

Conduz a: Turbina eólica (p. 339)



1 Placa positiva (dióxido de chumbo) 2 Placa negativa (chumbo esponjoso) 3 Separador 4 Eletrólito (ácido sulfúrico diluído) 5 Ponte de chumbo e borne 6 Recipiente de vidro

Uma bateria de chumbo-ácido armazena eletricidade em placas de chumbo e de dióxido de chumbo mergulhadas em ácido sulfúrico diluído, devolve-a como corrente e pode ser recarregada centenas de vezes. Gaston Planté construiu a primeira célula em 1859; as placas empastadas de Camille Faure fizeram dela um produto industrial em 1881, e ela ainda dá a partida na maioria dos carros do mundo.

O que é

Uma bateria de chumbo-ácido guarda a eletricidade em forma química e a devolve como corrente, centenas de vezes seguidas. Cada célula tem placas de chumbo em ácido sulfúrico diluído e fornece cerca de dois volts. Uma bateria de carro junta seis células em série numa só caixa: doze volts.

O físico francês Gaston Planté construiu em 1859 a primeira célula recarregável: ela voltava a carregar quando se fazia passar corrente no sentido inverso. Em 1881, Camille Faure mudou o preparo das placas, revestindo-as com

óxido de chumbo, de modo que as células ficavam prontas mais cedo e podiam ser fabricadas em série. A reação no interior continua sendo a de Planté.

Como funciona

As placas positivas (1) levam dióxido de chumbo, um pó marrom-escuro. As negativas (2) levam chumbo esponjoso, cinzento e cheio de poros para que o ácido alcance o máximo de metal. Os separadores (3) impedem que se toquem, e o eletrólito (4), ácido sulfúrico diluído em água, preenche todos os espaços.

Uma placa empastada: a pasta de óxido de chumbo é prensada numa grade de chumbo moldado, que a mantém no lugar.

Na descarga, o chumbo e o dióxido de chumbo das placas reagem com o ácido e se transformam em sulfato de chumbo, enquanto as grades de chumbo conduzem a corrente. Os elétrons saem da placa negativa e chegam à positiva pelo circuito externo, onde alimentam a lâmpada ou o motor. A reação consome ácido e produz água, por isso o eletrólito fica mais fraco à medida que a célula se esvazia: numa bateria de partida, sua densidade relativa (em relação à água) cai de cerca de 1,265 para cerca de 1,12.

A carga faz a reação andar ao contrário. A corrente de um gerador, de um painel solar ou de um carregador ligado à rede transforma o sulfato de volta em chumbo e dióxido de chumbo, e o ácido retorna ao líquido. No fim resta pouco sulfato, e parte da corrente decompõe a água: o hidrogênio borbulha nas placas negativas, o oxigênio nas positivas. É por isso que as baterias abertas perdem água e as salas de carga precisam de ventilação.

A capacidade é medida em ampères-hora (Ah): uma bateria de 60 Ah fornece 3 A durante cerca de 20 horas, o período usual de referência, e menos se for descarregada mais depressa. O sulfato deixado semanas numa placa descarregada pode crescer em cristais duros que uma carga comum talvez já não desfaça, e as descargas profundas desgastam a matéria ativa. Numa comparação da Battery University, uma bateria de partida esvaziada por completo a cada vez durou de 12 a 15 ciclos, contra 130 a 150 quando só se usava 30% da carga.

Como fazer

Fabricar células exige lidar com chumbo derretido e ácido concentrado; por isso esta seção trata de como escolher, carregar e cuidar de uma bateria comprada.

Dimensionar pelo consumo. Uma cabana acende todo dia três lâmpadas LED de 5 W durante cinco horas e um rádio de 10 W durante três: 75 + 30 = 105 watts-hora, cerca de 9 Ah em 12 V. Conte com dois dias sem recarga (18 Ah) e não use mais da metade da capacidade: são precisos pelo menos 36 Ah. Escolha uma bateria de ciclo profundo de 40 a 50 Ah, porque o frio também reduz a capacidade.

Carregar na tensão certa. Use um carregador feito para a tensão e o tipo da bateria (aberta, AGM ou de gel) e siga o perfil de carga do fabricante. A cerca de 25 °C, uma bateria aberta de 12 V costuma ser carregada até 13,8–14,7 V, conforme o modelo, e depois mantida a cerca de 13,5 V; um bom carregador ajusta a tensão de carga à temperatura da bateria. Com um painel solar, ponha um controlador de carga entre o painel e a bateria. Seja qual for a fonte de carga, instale um fusível adequado ao cabo perto do borne positivo e proteja cada circuito que alimenta um aparelho. Recarregue logo depois de cada uso e nunca carregue uma bateria congelada.

Verificar o estado de carga. Deixe a bateria desligada em repouso pelo menos quatro horas, de preferência um dia, e meça a tensão entre os bornes. Por exemplo, uma bateria de partida a 26 °C, após um dia de repouso,

Aperta-se a pera, aspira-se o ácido de uma célula e observa-se a que altura a boia flutua: quanto mais denso o ácido, mais carregada a célula.

marca cerca de 12,65 V cheia e cerca de 11,9 V vazia; cada modelo é diferente, por isso use a tabela do fabricante. Nas baterias abertas, um densímetro mede cada célula: nessa mesma bateria, cerca de 1,265 cheia e cerca de 1,12 vazia.

Completar só com água destilada. Acrescente água destilada até a marca depois da carga, com a bateria já fria; se as placas estiverem descobertas antes da carga, coloque só o suficiente para cobri-las. Nunca acrescente ácido. As baterias seladas AGM e de gel não precisam de água.

Limpar, guardar, reciclar. Escove a crosta dos bornes com água e bicarbonato de sódio sem deixar entrar nas células, depois seque e passe graxa nos polos. Guarde a bateria carregada, em lugar fresco e seco; verifique a tensão mais ou menos uma vez por mês e recarregue-a antes que caia abaixo de cerca de 12,3 V, ou do limite indicado pelo fabricante, e pelo menos a cada seis meses. Leve a bateria usada a um revendedor ou a um ponto de coleta.

> **Segurança.** O ácido da bateria queima a pele e os olhos: use óculos de proteção e luvas resistentes a ácido. Se espirrar, enxágue com água corrente durante pelo menos 30 minutos e procure atendimento médico. A carga libera hidrogênio, que uma faísca ou uma chama podem inflamar: carregue em local ventilado, não fume por perto e desligue o carregador antes de pôr ou tirar as garras. No carro, desligue primeiro o cabo ligado à carroceria (o negativo em quase todos os carros) e religue-o por último. Um curto-circuito faz passar centenas de ampères e pode derreter uma chave: use ferramentas isoladas e tire anéis e relógio. Uma bateria de carro pode pesar 15 kg ou mais: mantenha-a em pé e levante-a com as pernas. O chumbo é tóxico: lave as mãos depois de manuseá-la, nunca queime uma bateria nem abra sua caixa (numa bateria aberta, tire só as tampas de enchimento) e mantenha-a fora do alcance das crianças.

História e evolução

Planté apresentou suas células à Academia de Ciências de Paris em 1860: folhas de chumbo separadas por tiras de borracha em ácido diluído, “formadas” invertendo a corrente repetidas vezes até a superfície ficar porosa.

Enquanto carregar significava gastar pilhas, os acumuladores ficaram nos laboratórios; o dínamo mudou isso na década de 1870. A pasta de Faure trocou meses de formação por uma única carga de cerca de sessenta horas. As centrais elétricas das décadas de 1880 e 1890 mantinham baterias em paralelo com a rede para absorver o pico da noite. A partir de cerca de 1893, as centrais telefônicas alimentaram as linhas dos assinantes com uma bateria central.

Fileiras de células de vidro mantinham centrais de iluminação e centrais telefônicas funcionando durante picos e panes.

Por volta de 1900, os carros elétricos, em sua maioria com baterias de chumbo, eram cerca de um terço dos veículos nas estradas americanas. O motor de partida elétrico de Charles Kettering, instalado no Cadillac de 1912, dispensou a manivela; à medida que outras marcas o adotaram, a bateria de partida virou equipamento de série. Nos Estados Unidos, cerca de 99% das baterias de chumbo são recicladas, e as novas contêm mais de 80% de material reciclado.

Números-chave

Tensão de uma célula

Cerca de 2,1 V em repouso, com carga completa; seis células em série formam uma bateria de 12 V

Tensão de carga

2,30–2,45 V por célula, depois cerca de 2,25 V por célula para mantê-la cheia

Densidade relativa do ácido

Cerca de 1,265 carregada, cerca de 1,12 descarregada (bateria de partida, após 24 horas de repouso)

Reciclagem

99% das baterias de chumbo são recicladas nos Estados Unidos (estudo do setor, dados até 2018)

Fontes

1. Accumulator (1911 Encyclopædia Britannica) · Encyclopædia Britannica, 11th edition, via Wikisource https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Accumulator
2. One of the First Rechargeable Batteries, about 1860 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co36401/one-of-the-first-rechargeable-batteries-about-1860-lead-acid-rechargeable-batteries
3. Planté Battery – 1859 · National High Magnetic Field Laboratory https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery-1859/
4. BU-201: How does the Lead Acid Battery Work? · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work
5. BU-403: Charging Lead Acid · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid
6. BU-903: How to Measure State-of-charge · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge
7. BU-804b: Sulfation and How to Prevent it · Battery University (Cadex Electronics) https://batteryuniversity.com/article/bu-804b-sulfation-and-how-to-prevent-it
8. Battery Charging – Industrial Lead-Acid Batteries · Canadian Centre for Occupational Health and Safety https://ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/battery-charging.html
9. Charging safely · Safety+Health, National Safety Council (NIOSH advice) https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/charging-safely-2
10. Lead Battery Industry Issues New National Recycling Rate Study · Battery Council International https://batterycouncil.org/news/lead-battery-industry-issues-new-national-recycling-rate-study/
11. The History of the Electric Car · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/history-electric-car
12. Switches, PBXs and Central Offices, chapter 12: power plants · TelephoneTribute.com https://www.telephonetribute.com/switches_survey_chapter_12.html
13. Lead poisoning and health · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health
14. Lead–acid battery · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery

Factos verificados em 2026-10-14

V

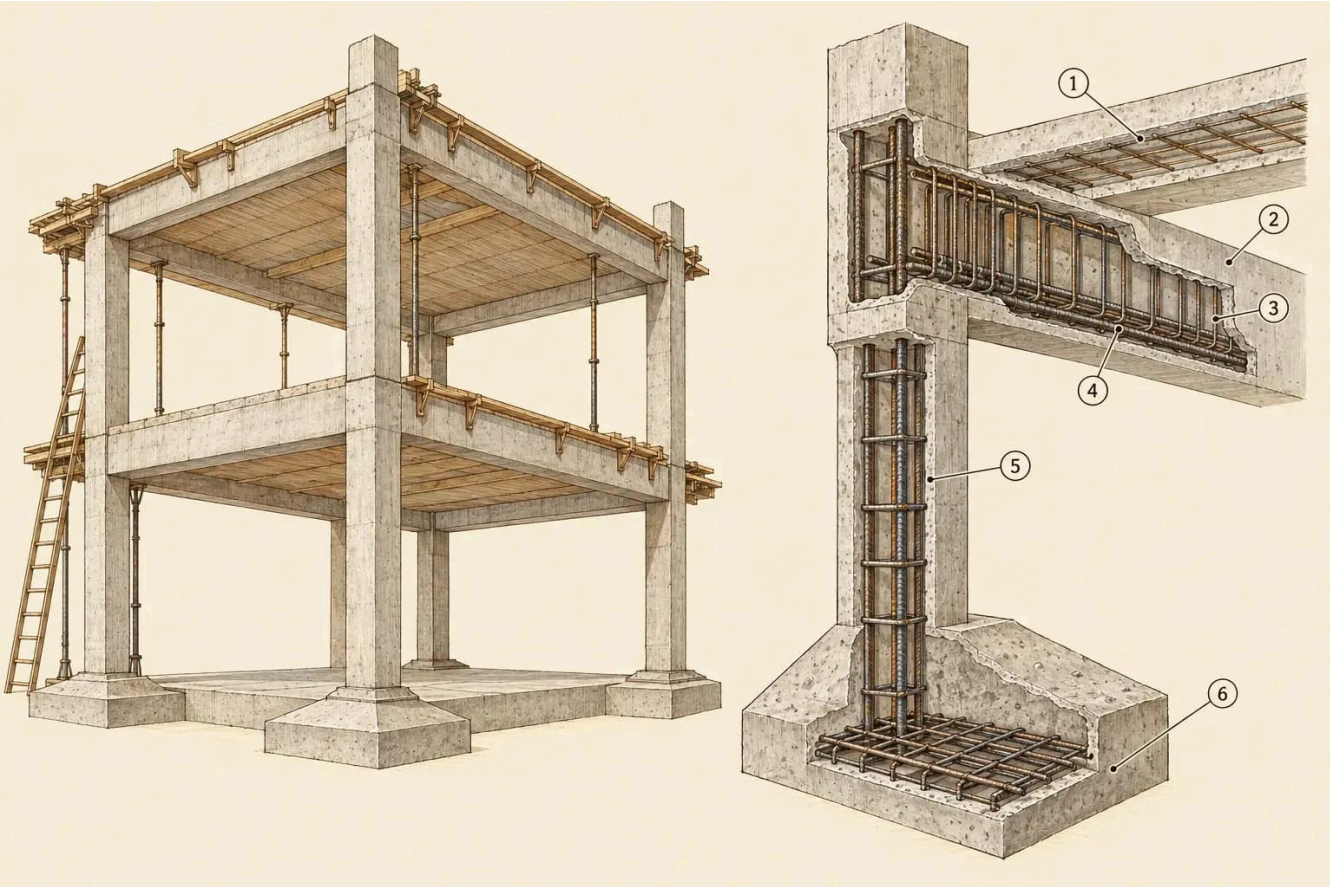
Era elétrica

Betão armado

Aço à tração, betão à compressão

c. 1848 · Era industrial · Era elétrica

Requer: Cimento Portland (p. 257), Aço (p. 140)



1 Laje do pavimento 2 Viga 3 Estribos 4 Armadura principal na face tracionada 5 Pilar com cintas 6 Sapata

O betão armado é betão com varões de aço metidos lá dentro, colocados onde a peça vai ser esticada. O betão aguenta a compressão e o aço a tração, de modo que uma viga ou uma laje plana pode vencer um vão onde o betão simples ou a pedra se partiriam.

O que é

O betão aguenta muito bem o esmagamento e muito mal o estiramento: a sua resistência à tração ronda um décimo da resistência à compressão. Uma viga de betão simples, como um lintel de pedra, fissura na face de baixo, que estica, com uma carga modesta. É por isso que os construtores romanos venciam os vãos com arcos, abóbadas e cúpulas, formas que trabalham quase só à compressão.

O betão armado põe aço onde a peça se alonga. Os varões na parte de baixo de uma viga recebem a tração, e o betão por cima deles a compressão. Juntos, betonam-se em lajes, vigas, pilares, sapatas, paredes, reservatórios e pontes.

Como funciona

Sob carga, uma viga flete: em cima encurta, em baixo alonga-se e abre fissuras finas como um cabelo, e a partir daí são os varões de baixo que resistem à tração. Sobre os apoios intermédios de uma viga contínua, e numa consola, a face tracionada fica em cima, e aí a armadura principal passa para cima. Uma laje apoiada nos quatro lados flete nos dois sentidos e leva uma malha; uma que trabalha num só sentido leva ainda assim varões mais leves na transversal, contra as fissuras de retração. Perto dos apoios a viga tende também a fissurar em diagonal; laços fechados de varão mais fino, os estribos, atravessam essas fissuras e ficam ali mais apertados. Os pilares são sobretudo comprimidos, e as cintas à volta dos varões verticais impedem que estes se abram para fora.

A ligação funciona por três razões. O aço e o betão dilatam-se com o calor quase na mesma medida, cerca de 10 a 12 milionésimos por grau Celsius. As nervuras laminadas nos varões modernos prendem-se ao betão e transmitem a força de um para o outro. E a água dos poros do betão é muito alcalina, por volta de pH 12,5 a 13, o que cobre o aço de uma película fina de óxido que trava a ferrugem.

Essa proteção dura enquanto durar o recobrimento, o betão por fora dos varões. O dióxido de carbono do ar neutraliza-o lentamente por carbonatação, e o sal do mar ou o sal de degelo leva cloretos para dentro. Quando chega ao aço em quantidade suficiente, com humidade e oxigénio, o varão enferruja. A ferrugem ocupa várias vezes o volume do aço que substitui: fissura o recobrimento e fá-lo saltar em lascas. Estes destacamentos começam onde o recobrimento é fino ou poroso. A norma americana ACI 318 pede cerca de 38 mm de recobrimento em varões finos ao ar livre e 75 mm quando o betão é lançado contra o terreno.

A ferrugem incha ao formar-se e faz saltar o betão demasiado fino por cima do varão.

O betão pré-esforçado vai mais longe: fios de aço de alta resistência, esticados e ancorados no betão, comprimem a peça de antemão. Sob carga, a face de baixo sofre pouca ou nenhuma tração, e tornam-se possíveis vigas mais compridas e esbeltas.

Como construir

Trata-se de um pequeno lintel pré-fabricado para um vão de 0,9 m no máximo num muro baixo de jardim, sob poucas fiadas de blocos, sem pavimento nem telhado. Qualquer elemento que suporte pessoas ou parte de um edifício, incluindo o lintel de uma casa, ou cuja queda possa ferir alguém, tem de ser dimensionado por um engenheiro segundo as normas locais, ou comprado como produto certificado.

Fazer o molde. Em chão plano, aparafusar tábuas numa caixa aberta com 1,2 m de comprimento e 150 × 150 mm de secção interior, para que o lintel apoie 150 mm de cada lado. Olear as faces interiores e escorar os lados com estacas para que o betão fresco não os empurre.

Colocar o aço. Cortar dois varões nervurados de 10 mm com 1,1 m, o que deixa 50 mm de betão em cada ponta. Assentá-los em espaçadores de plástico de 40 mm, a 40 mm dos lados, e atá-los com arame para não se mexerem durante a betonagem. Usar varões inteiros. Em obras maiores, os varões emendam-se por sobreposição num comprimento fixado pelo projeto, pelo menos 500 mm nas lajes de casas australianas.

Betonar, compactar e curar. Amassar o betão como se explica para o cimento Portland, com brita de 10 mm no máximo. Encher em duas camadas, apiloar cada uma à volta dos varões e bater nas tábuas para expulsar o ar. Riscar uma seta na face de cima: assente ao contrário, o lintel teria o aço na face comprimida. Mantê-lo húmido debaixo de um plástico durante pelo menos 7 dias, mais com tempo frio.

Os varões assentam em espaçadores: o betão passa por baixo e envolve-os.

Assentá-lo. O lintel pesa cerca de 65 kg: deslocá-lo a dois ao nível do chão, ou com uma ajuda de elevação acima da cintura, e pousá-lo sobre uma cama de argamassa, com o aço para baixo. Só construir por cima ao fim de cerca de 28 dias, quando o betão se aproxima da resistência prevista.

Ver a tração em ação. Moldar três barrinhas de argamassa de 50 × 50 × 500 mm, uma sem armadura e duas com um arame de aço de 4 mm a 15 mm de uma face. Ao fim de uma semana, apoiar cada uma em dois tijolos afastados 400 mm, no chão, pôr uma tabuinha atravessada a meio e empilhar tijolos em cima, um de cada vez. A barrinha sem armadura parte de repente; a que tem o arame em baixo fissura por baixo, verga e aguenta muito mais; ensaiada com o arame em cima, a terceira parte quase como a que não tem armadura.

> **Segurança.** O cimento fresco é muito alcalino e queima a pele contra a qual fica preso: use luvas impermeáveis, mangas compridas e óculos de proteção, e lave logo os salpicos. Corte o aço com tesoura de varão ou rebarbadora só com óculos e luvas, longe de tudo o que possa arder. Escore todos os moldes; uma cofragem que segura betão em altura é trabalho para profissionais, porque pode ceder sob o peso da betonagem. Durante o ensaio de carga, use óculos, fique de lado e mantenha os pés longe da carga.

História e evolução

Em 1848, Joseph-Louis Lambot pôs a flutuar um barco de cimento sobre malha de ferro no lago da sua propriedade de Miraval, no Var. Patenteou-o em 1855 e nesse mesmo ano expôs um segundo em Paris; o primeiro está guardado no museu de Brignoles. Esta prancha fica com 1848, data desse barco, um dos primeiros exemplos conservados de ferro e cimento a trabalhar juntos. Em 1854, em Inglaterra, William Boutland Wilkinson, de Newcastle, patenteou pavimentos armados com ferro.

O barco de Lambot: uma casca fina de cimento sobre uma grelha de ferro.

Joseph Monier, jardineiro em Paris, patenteou a 16 de julho de 1867 vasos e reservatórios armados, depois pontes em 1873 e vigas em 1878. Na Alemanha, Gustav Adolf Wayss comprou as suas patentes e construiu mais de 300 pontes em arco entre 1887 e 1891. Em 1892, François Hennebique patenteou uma estrutura completa de pilares, vigas e lajes, executada por empreiteiros licenciados. Nos Estados Unidos, Ernest Ransome patenteou um varão torcido em 1884, e o Ingalls Building, em Cincinnati, chegou aos 16 pisos em 1903.

A ponte de Salginatobel, de Robert Maillart (1930), atravessa uma garganta suíça com um arco oco de 90 m, com apenas 20 cm de espessura no topo. Eugène Freyssinet patenteou o pré-esforço em 1928 e usou-o em 1934 para salvar a estação marítima do Havre, que se afundava na argila.

Um relatório da Chatham House de 2018 estima a produção mundial de cimento em mais de 4 mil milhões de toneladas por ano, sobretudo para betão, e a sua parte das emissões mundiais de CO_2 em cerca de 8 %.

Números-chave

O betão à tração

Cerca de 10 % da sua resistência à compressão

Água dos poros junto aos varões

pH 12,5 a 13, que protege o aço da ferrugem

Primeiros marcos

O barco de Lambot, 1848; primeira patente de Monier, 16 de julho de 1867

Dilatação térmica

Cerca de 10 milionésimos por °C no betão, 11 a 12 no aço

Recobrimento mínimo (ACI 318)

Cerca de 38 mm em varões finos ao ar livre, 75 mm contra o terreno

Fontes

1. Joseph Monier et l'invention du béton armé (B. Lemoine, 2023) · Association française de génie civil (AFGC) https://www.afgc.asso.fr/app/uploads/2026/03/JosephMONIER_InventionBeton.pdf
2. The Construction Industry enters the 20th Century (R. Day, 1980) · Bristol Industrial Archaeological Society Journal 13 https://b-i-a-s.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/BIAS_Journal_13_FERRO_CONCRETE.pdf
3. The Invention of Reinforced Concrete (1848–1906) (Moussard, Garibaldi & Curbach, 2018) · TU Dresden, in High Tech Concrete (Springer) https://fis.tu-dresden.de/portal/en/publications/the-invention-of-reinforced-concrete-1848--1906(8f5281e9-99eb-4cdd-9eff-3687b595367f).html
4. Maison de Joseph Lambot à Montfort-sur-Argens · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/ot_campslasource/patrimoine-montfort-sur-argens-maison-de-joseph-lambot_1679.html
5. Musée des Comtes de Provence, Brignoles · Office de tourisme Provence Verte & Verdon https://www.la-provence-verte.net/activites/patrimoine-brignoles-musee-des-comtes-de-provence_435.html
6. Why is reinforced concrete used? · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=666
7. Concrete cover for members cast against earth (ACI 318-19) · American Concrete Institute https://www.concrete.org/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=903
8. Beam reinforcement detailing per ACI 318-19 (cover table) · ideCAD documentation https://help.idecad.com/ideCAD/beam-reinforcement-detailing
9. What stops the reinforcing steel in damp, porous concrete from corroding (usually)? (J. Broomfield) · Institute of Corrosion https://www.icorr.org/?p=22054
10. Thermal expansion and contraction of concrete · Penn State College of Engineering https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/cracking/thermalexpansioncontraction/example.htm
11. Principles of reinforced concrete: objective of the steel-concrete combination (W. Pauchet, 2021) · Techniques de l'Ingénieur https://www.techniques-ingenieur.fr/en/resources/article/ti264/principles-of-reinforced-concrete-tba1024/objective-of-the-steel-concrete-combination-2
12. Properties of concrete · University of Memphis, Civil Engineering https://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/section_3_properties.html
13. Concrete slab reinforcement: lapping · RMIT University Learning Lab https://learninglab.rmit.edu.au/Toolbox/buildright/content/bcgbc4010a/10_floor_systems/03_concrete_slab_reinforcement/page_006.htm
14. Ingalls Building · American Society of Civil Engineers https://asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/ingalls-building
15. Alvord Lake Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/alvord-lake-bridge
16. Salginatobel Bridge · American Society of Civil Engineers https://www.asce.org/about-civil-engineering/history-and-heritage/historic-landmarks/salginatobel-bridge
17. World Monument Salginatobel Bridge, technical profile · Schiers Tourism https://www.salginatobelbridge.com/s/English_Flyer.pdf
18. The Story of Eugène Freyssinet (K. Shushkewich, 2010) · ASPIRE, The Concrete Bridge Magazine https://www.aspirebridge.com/magazine/2010Fall/Perspective_Fall10.pdf
19. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Lehne & Preston, 2018) · Chatham House https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf
20. Cement · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/construction/healthrisks/hazardous-substances/cement.htm

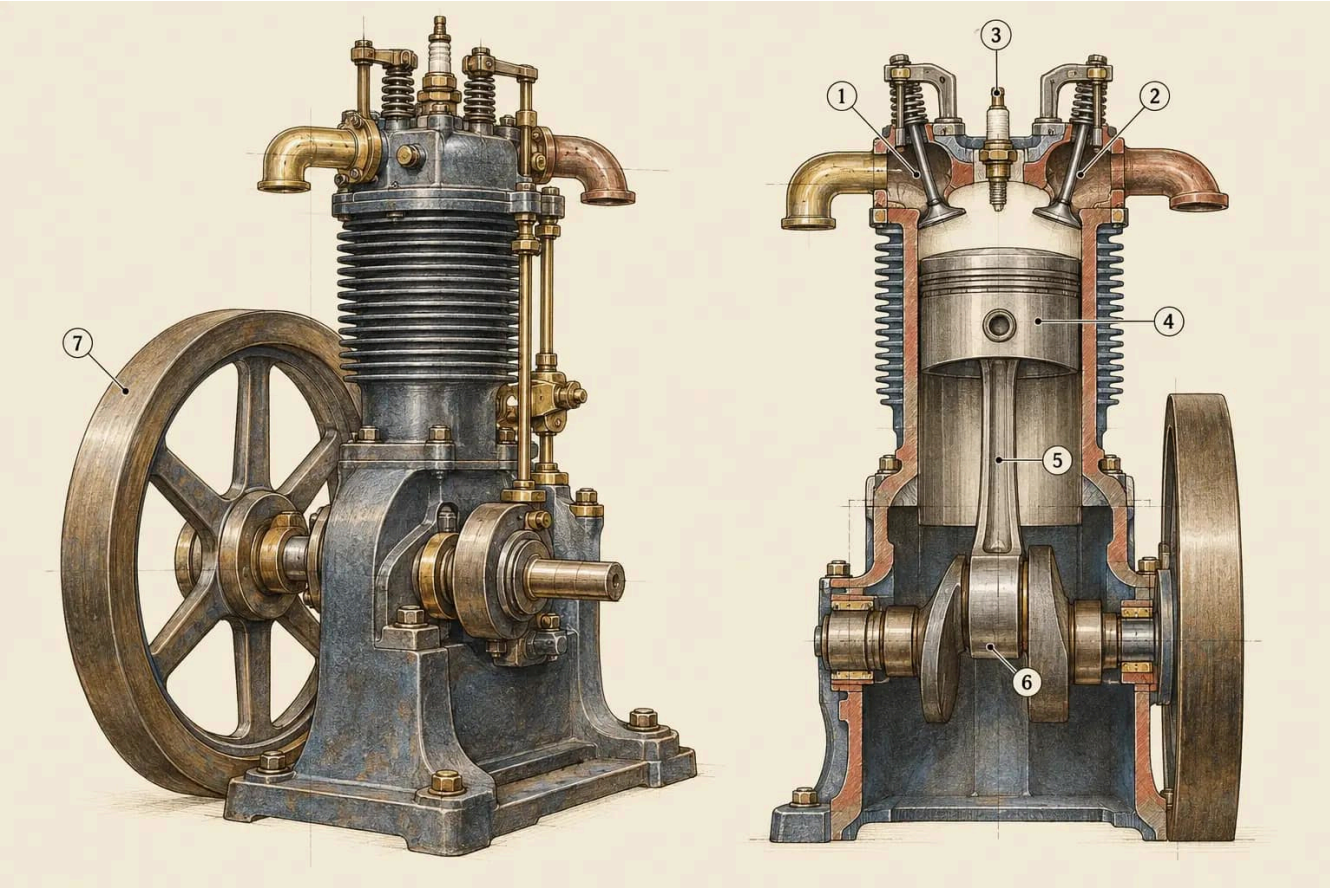
Factos verificados em 2026-10-14

Motor de combustão interna

Pequenas explosões, potência constante

1876 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Máquina a vapor (p. 227), Metalurgia do ferro (p. 136), Aço (p. 140), Destilação (p. 173)
Conduz a: Avião (p. 352)



1 Válvula de admissão 2 Válvula de escape 3 Vela de ignição 4 Êmbolo 5 Biela 6 Cambota 7 Volante do motor

Um motor de combustão interna queima o combustível dentro de um cilindro fechado; o gás quente empurra um êmbolo que faz girar uma cambota. O motor a gás de quatro tempos de Nicolaus Otto, de 1876, fixou o esquema que a maioria dos motores de automóveis, barcos e geradores ainda segue.

O que é

Um motor de combustão interna produz o calor dentro da própria máquina. A máquina a vapor queima o combustível debaixo de uma caldeira separada e envia o vapor para o cilindro. Aqui, uma pequena carga de ar e combustível arde no cilindro, e o gás produzido empurra diretamente um êmbolo.

O motor desta prancha é um monocilíndrico vertical, como os que se construíam nas décadas de 1880 e 1890: um cilindro de ferro fundido com alhetas de arrefecimento, um êmbolo que desliza no seu interior, uma cambota por baixo e um volante pesado que mantém o veio a rodar entre duas combustões. Os motores de automóvel atuais têm vários cilindros e ligas mais leves, mas continuam a transformar o impulso sobre um êmbolo em rotação por meio de uma biela e de uma cambota.

Como funciona

O êmbolo é uma espécie de tampão bem ajustado que sobe e desce no cilindro. Uma biela liga-o a um moente da cambota, e assim o vaivém do êmbolo transforma-se em rotação, tal como os joelhos de um ciclista fazem girar os pedais.

A maioria dos motores segue o ciclo de quatro tempos que Otto tornou prático. Num motor de ignição por faísca como o desenhado aqui, decorre assim. No primeiro tempo, o êmbolo desce com a válvula de admissão aberta e aspira uma mistura de ar e combustível. No segundo, as duas válvulas estão fechadas e o êmbolo sobe, comprimindo a mistura num pequeno espaço no topo do cilindro. Perto do ponto mais alto, uma faísca inflama-a (nos primeiros motores era uma chama ou um tubo incandescente). O gás aquece muito depressa e empurra o êmbolo para baixo: este terceiro tempo é o único que produz trabalho. No quarto, abre-se a válvula de escape e o êmbolo, ao subir, expulsa os gases queimados.

Anéis elásticos alojados em ranhuras à volta do êmbolo vedam-no contra a parede do cilindro.

A cambota dá duas voltas por cada tempo motor, e o volante armazena energia suficiente para atravessar os outros três. Uma árvore de cames, que roda a metade da velocidade da cambota, abre cada válvula no momento certo.

Foi a compressão que deu vantagem ao motor de Otto. Uma mistura comprimida antes de arder liberta o seu calor a uma pressão mais alta, e uma parte maior desse calor transforma-se em trabalho. Na década de 1890, Rudolf Diesel levou a ideia mais longe: comprimia apenas ar até este ficar quente o bastante para inflamar o combustível nele injetado, sem qualquer faísca.

Como construir

Um motor que funcione é trabalho de precisão. São precisos uma fundição, um torno e uma mandriladora, instrumentos de medida ao centésimo de milímetro e um combustível fiável. O que se segue descreve como as peças eram fabricadas historicamente; não é um plano de construção.

Fundir o cilindro e a base. Os primeiros fabricantes fundiam o cilindro e a base em ferro fundido cinzento, fácil de maquinar e resistente ao desgaste. Depois, o cilindro era mandrilado perfeitamente redondo e direito. A camisa de água ou as alhetas faziam parte da mesma peça.

Fazer o êmbolo e os segmentos. O êmbolo, de ferro fundido e mais tarde de alumínio, era torneado um pouco mais pequeno do que o diâmetro do cilindro. Anéis abertos de ferro elástico ficam em ranhuras à sua volta e fazem pressão para fora contra a parede, para que o gás não passe.

Forjar a cambota e a biela. São as peças mais esforçadas. Forjavam-se em aço, eram depois torneadas e montadas em chumaceiras de bronze ou metal branco.

Afinar a distribuição e a ignição. As cames e, mais tarde, o magneto ou a bobina que produz a faísca têm de atuar no ponto certo do ciclo. Um erro faz o motor trabalhar mal ou dar um contragolpe.

Alimentar e arrefecer. Os motores de Otto funcionavam a gás de iluminação. Os motores a gasolina precisaram de um carburador para misturar ar e combustível na proporção certa. Qualquer motor precisa de arrefecimento a água ou a ar, e de óleo para que as peças móveis não gripem.

> **Segurança.** O combustível e os seus vapores inflamam-se facilmente e podem explodir num espaço fechado. Os gases de escape contêm monóxido de carbono, que mata sem cheiro nem aviso: nunca ponha um motor a trabalhar no interior nem num espaço parcialmente fechado, mesmo com portas e janelas abertas. O volante, as correias e a manivela de arranque podem partir ossos, e um contragolpe ao arrancar à mão pode causar lesões graves. As peças quentes e a água de arrefecimento sob pressão provocam queimaduras.

História e evolução

Motores a gás fixos como este acionavam as máquinas das oficinas antes de os veículos a motor se generalizarem.

Havia dois séculos que se tentava mover um êmbolo com uma explosão. Christiaan Huygens fez experiências com pólvora na década de 1670, e em 1807 o suíço François Isaac de Rivaz patenteou um motor a hidrogénio, que mais tarde montou numa pequena carroça. O primeiro motor vendido em quantidade foi o motor a gás de Étienne Lenoir, de 1860. Parecia uma máquina a vapor de duplo efeito, mas queimava a mistura sem a comprimir e desperdiçava a maior parte do combustível.

Nicolaus Otto, caixeiro-viajante de Colónia, encomendou em 1861 a um mecânico local, Michael Zons, um motor segundo o modelo de Lenoir, para o estudar. Com o engenheiro Eugen Langen construiu um motor «atmosférico» que ganhou uma medalha de ouro na Exposição Universal de Paris de 1867; foram construídos vários milhares. Em 1876 Otto construiu o seu motor de quatro tempos com compressão. O francês Alphonse Beau de Rochas tinha descrito o mesmo ciclo num folheto de 1862 e, por esse motivo, a patente alemã de Otto foi anulada em 1886, deixando outras empresas livres para fabricar o motor.

Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, que tinham ambos trabalhado na empresa de Otto, construíram em 1885 um motor pequeno e rápido que girava a várias centenas de rotações por minuto. Os motores ficaram assim leves o bastante para um veículo. No mesmo ano, Carl Benz concluiu o seu automóvel de três rodas e pediu a patente em janeiro de 1886.

O carro de Benz tinha um monocilíndrico de quatro tempos com menos de um litro.

Em 1897, em Augsburgo, o motor de Diesel atingiu num ensaio um rendimento de 26,2 %, mais do dobro das máquinas a vapor da época. No século XX, os motores de combustão interna dominaram o transporte rodoviário, a agricultura, a navegação e os primeiros aviões. Os motores elétricos estão a substituí-los em muitos automóveis, mas a maioria dos motores de combustão construídos hoje ainda segue a sequência de quatro tempos que Otto pôs a funcionar em 1876.

Números-chave

Primeiro quatro tempos de Otto
1876, cerca de 3 cv a 180 rpm

Motor de ensaio de Diesel
Rendimento de 26,2 %, 17 de fevereiro de 1897

Tempos motores (motor a quatro tempos)
Um por cilindro a cada duas voltas da cambota

Fontes

1. Replica Otto four-stroke engine · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8405692/replica-otto-four-stroke-engine-internal-combustion-engine
2. Nikolaus August Otto · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/history/nikolaus-august-otto
3. Early history of the diesel engine · DieselNet https://www.dieselnet.com/tech/diesel_history.php
4. Otto engine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_engine

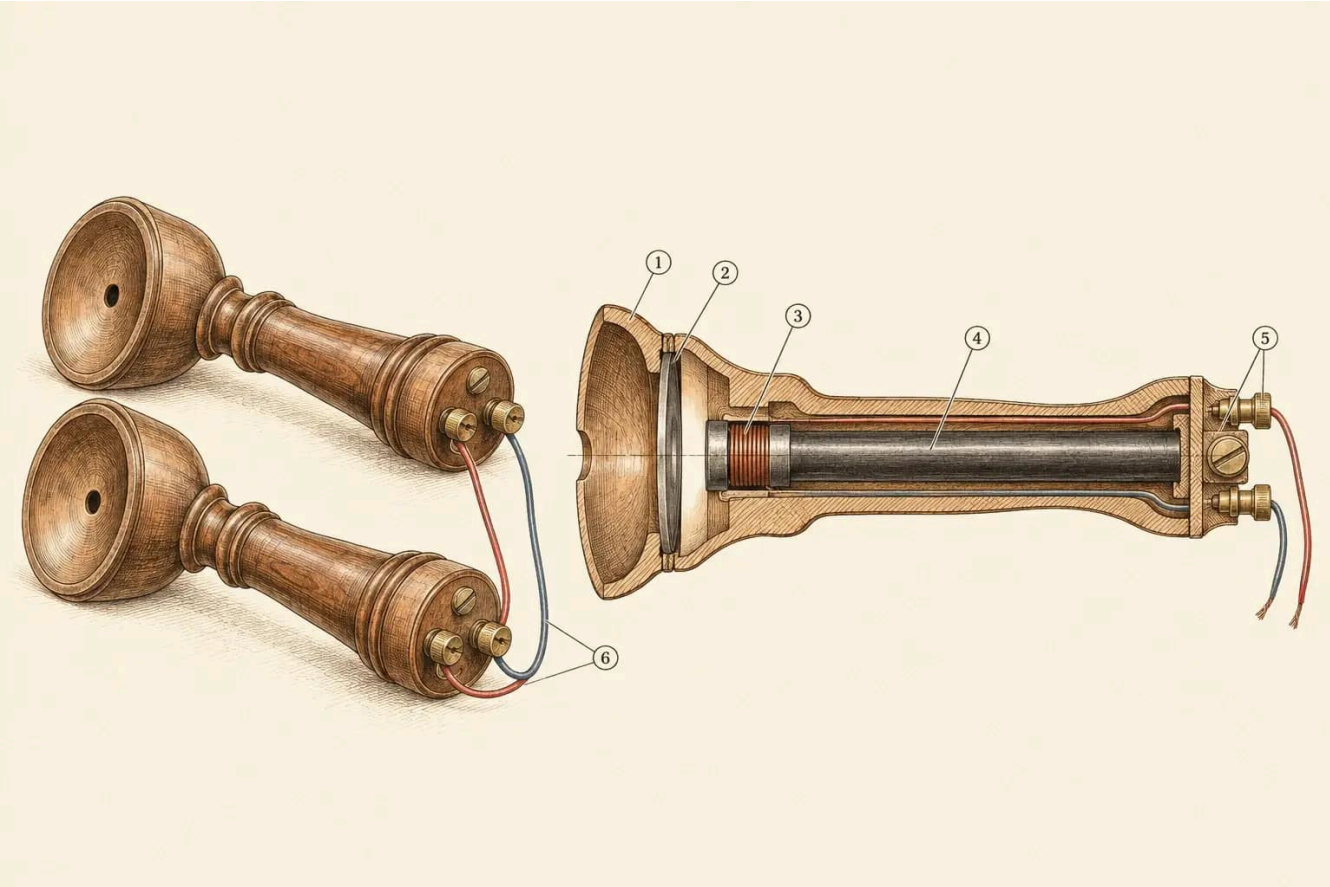
Factos verificados em 2026-10-11

Telefone

Uma voz levada por um fio

1876 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Telégrafo elétrico (p. 286)



1 Bocal e auscultador 2 Membrana de ferro 3 Bobina 4 Íman em barra 5 Terminais 6 Fio de linha

O telefone transforma as vibrações da voz numa corrente elétrica variável, envia-a por um fio e volta a transformá-la em som na outra ponta. Alexander Graham Bell patenteou-o em março de 1876; dois anos depois, os seus telefones magnéticos estavam em uso comercial, e o microfone de carvão e as centrais depressa fizeram dele um serviço público.

O que é

Um telefone leva a própria voz por um par de fios. Um transmissor transforma as ondas de pressão da voz numa corrente elétrica cuja intensidade acompanha as variações da pressão sonora; um recetor, na outra ponta, usa essa corrente para mexer uma placa fina e recriar o som.

A gravura mostra um dos telefones de mão de Bell de 1877 e 1878, um instrumento de madeira torneada a que chamavam butterstamp, por lembrar um carimbo de manteiga. O mesmo aparelho servia para falar e para ouvir, e funcionava sem pilha: era a própria voz que produzia a corrente.

Como funciona

Dentro da caixa de madeira do butterstamp, um íman em barra de aço percorre todo o cabo. Na ponta da frente há uma peça polar curta de ferro macio, envolvida por uma bobina de fio de cobre fino e isolado. Mesmo à frente do polo, separado dele por uma folga de uma fração de milímetro, um disco fino de ferro, a membrana, está preso pela borda atrás do bocal. As duas pontas da bobina saem para terminais na traseira, e daí um par de fios segue para o outro telefone.

O telefone de cordel transmite o som mecanicamente: a voz faz vibrar o fundo de uma lata e o cordel esticado faz vibrar o da outra.

Quando alguém fala para o bocal, a pressão do ar sobre a membrana sobe e desce, e o disco curva-se para dentro e para fora muito ligeiramente. Sempre que se aproxima do polo, passa pelo ferro uma parte maior do campo do íman; sempre que se afasta, uma parte menor. Um campo magnético variável numa bobina cria nela uma tensão, e assim a bobina envia pela linha uma corrente alternada fraca que acompanha a forma da onda sonora.

No microfone de carvão, a membrana comprime uma cápsula de grãos de carvão, de modo que a corrente de uma pilha varia com a voz.

Na outra ponta, a mesma corrente percorre a bobina do segundo telefone. Reforça ou enfraquece a atração do íman permanente sobre a membrana desse aparelho, que se mexe assim ao ritmo da de quem fala e põe a vibrar o ar à sua frente. Toda a energia vem da voz, por isso o som é fraco e o alcance curto. A partir do fim da década de 1870, os telefones passaram a ter um microfone de carvão: a membrana carrega no carvão, cuja resistência elétrica desce quando é comprimido, e assim a voz faz variar a corrente de uma pilha em vez de a produzir. O sinal ficava muito mais forte.

Como construir

Dois altifalantes pequenos mostram o mesmo princípio, a passagem reversível entre som, movimento e corrente. São construídos de outra maneira que o aparelho de Bell: no altifalante, a bobina está presa à membrana e mexe-se com ela no campo de um íman, enquanto no butterstamp a bobina e o íman ficam parados e só a membrana de ferro se mexe. Ligados um ao outro, dois altifalantes formam um telefone sem pilha.

Reunir o material. São precisos dois altifalantes pequenos iguais, de 8 ohms e 5 a 8 cm de diâmetro, comprados avulso ou tirados de brinquedos a pilhas depois de lhes retirar as pilhas (nunca de rádios ou de outros aparelhos que funcionam ligados à corrente, mesmo desligados: algumas peças ficam carregadas), e alguns metros de fio duplo de campainha ou de cabo de altifalante.

Ligar os fios. Descarne um centímetro em cada ponta do cabo. Ligue um condutor ao primeiro terminal de cada altifalante e o outro condutor ao segundo terminal de cada um, com terminais de parafuso ou torcendo e isolando as emendas com fita.

Falar. Comece com um cabo curto e depois estenda-o entre duas divisões com a porta fechada, para que o seu parceiro não o ouça diretamente. Fale alto e muito perto de uma membrana enquanto ele encosta o outro

altifalante ao ouvido; depois desligue um fio e repita, para confirmar que o som passa mesmo pela linha. Conte com uma voz fraca; o resultado depende dos altifalantes: se nada chegar, encurte o cabo ou experimente altifalantes de outro tamanho. Troquem de papéis: cada altifalante serve de transmissor e de recetor, como o butterstamp.

Comparar. Faça também um telefone de cordel com duas latas ou copos de cartão e alguns metros de cordel atado num furo no fundo de cada um. Mantenha o cordel esticado e longe de obstáculos, e compare os dois.

> **Segurança.** Este circuito não precisa de pilha e nunca deve ser ligado à corrente da rede nem a uma linha telefónica, que transportam tensões perigosas. As latas abertas têm arestas cortantes: lime-as ou cubra-as com fita. Não grite diretamente para o ouvido de ninguém através de nenhum dos telefones.

História e evolução

Antes de Bell, vários inventores tentaram transmitir a fala pela eletricidade. Em 1861, Philipp Reis apresentou em Frankfurt um aparelho a que chamou telefone, mas que não passou de curiosidade. Antonio Meucci entregou em 1871 um pedido preliminar de patente (caveat) para um «telégrafo sonoro» e deixou-o caducar em 1874; a sua prioridade continua a ser discutida.

Bell, que trabalhava então em Boston, entregou o pedido de patente a 14 de fevereiro de 1876, no mesmo dia em que Elisha Gray apresentava um caveat com uma ideia semelhante, e continua em disputa qual dos documentos chegou primeiro. A patente n.º 174 465 foi concedida a 7 de março. Três dias depois, com um transmissor de líquido, Bell dirigiu a sua primeira frase claramente inteligível ao seu assistente Thomas Watson. Depressa trocou o transmissor de líquido pelo telefone magnético, patenteado a 30 de janeiro de 1877. A 12 de fevereiro de 1877, uma plateia reunida em Salem ouviu um orador que falava de Boston, a cerca de 26 km.

O transmissor de líquido de Bell, março de 1876: a voz faz vibrar a membrana, o fio mergulha mais ou menos na água acidulada e a corrente varia.

Thomas Edison concebeu um transmissor de carvão em 1877, e Henry Hunnings, em Inglaterra, usou carvão em grão. A primeira central comercial abriu em New Haven, no Connecticut, a 28 de janeiro de 1878, com 21 assinantes ligados à mão num quadro comutador. As centrais automáticas de Almon Strowger permitiram depois aos assinantes fazer eles próprios as ligações, o que o disco numerado facilitou a partir de 1896. Na década de 1950, os Estados Unidos tinham mais de metade dos telefones do mundo.

Números-chave

Patente de Bell
N.º 174 465, pedida a 14 de fevereiro de 1876, concedida a 7 de março de 1876

Telefone magnético sem pilha
Patente norte-americana n.º 186 787, 30 de janeiro de 1877

Primeira frase inteligível de Bell
10 de março de 1876, Boston: «Mr. Watson, come here, I want to see you» (caderno de Bell)

Primeira central comercial
New Haven, 28 de janeiro de 1878: 21 assinantes a 1,50 dólares por mês

Fontes

1. Telephone · Engineering and Technology History Wiki (IEEE) https://ethw.org/Telephone
2. Early telephone by Alexander Graham Bell, 1877 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32960/early-telephone-by-alexander-graham-bell-1877
3. US186787A: Improvement in electric telegraphy (A. G. Bell, 1877) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US186787A/en
4. First Commercial Telephone Exchange – Today in History: January 28 · Connecticut Humanities https://connecticuthistory.org/the-first-commercial-telephone-exchange-today-in-history
5. Telephone · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Telephone
6. Replica of Bell's liquid transmitter of March 1876 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co33314/replica-of-bells-liquid-transmitter-of-march-1876-1880-1958-telephone
7. The Telephone: a lecture entitled Researches in Electric Telephony (A. G. Bell, Society of Telegraph Engineers, 1877) · Project Gutenberg https://www.gutenberg.org/ebooks/55787
8. Some experiments with the telephone (Lord Rayleigh, Scientific Papers) · Cambridge University Press https://www.cambridge.org/core/books/abs/scientific-papers/some-experiments-with-the-telephone/3FE1242F3DA62548052EB38CDF24909D
9. Vibration of Plates (A. W. Leissa, NASA SP-160, 1969) · NASA https://ntrs.nasa.gov/citations/19700009156
10. Early receivers · Telephone Collecting https://telephonecollecting.org/Bobs%20phones/Pages/Essays/Early%20Receivers/Early%20Receivers.htm
11. Copper Wire Tables (NBS Handbook 100, 1966) · National Bureau of Standards https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf
12. US7760869B2: Method and apparatus for controlling the transmit volume level of a speakerphone (mouth reference point and TIA-810-B test level) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US7760869B2/en

Factos verificados em 2026-10-12

Lâmpada incandescente

Um filamento brilhante no vácuo

1879 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Gerador elétrico (p. 274), Vidro (p. 132)

1 Ampola de vidro 2 Filamento de carbono 3 Fios de entrada de platina 4 Pé de vidro selado 5 Ponta de vácuo 6 Casquilho de rosca

Uma lâmpada incandescente produz luz fazendo passar corrente por um filamento fino até ele ficar ao rubro branco, dentro de uma ampola de vidro sem ar para que o filamento não arda. Joseph Swan e Thomas Edison tornaram-na prática em 1879, e ela iluminou casas e ruas durante mais de um século.

O que é

A lâmpada incandescente é uma ampola de vidro com um fio muito fino, o filamento, que brilha quando a corrente o atravessa. Antes dela, as casas iluminavam-se com chamas: velas, candeeiros de azeite e bicos de gás, que faziam fumo e causavam muitos incêndios. Já havia lâmpadas de arco elétrico, mas eram fortes demais para uma sala.

A lâmpada da prancha é do tipo que a fábrica de Edison produzia no início da década de 1880. As suas descendentes foram a lâmpada doméstica habitual durante a maior parte do século XX, até serem substituídas pelas fluorescentes compactas e depois pelos LED.

Como funciona

Qualquer material suficientemente aquecido emite luz. A resistência elétrica converte energia elétrica em calor, e um filamento fino passa do vermelho escuro ao laranja e depois ao branco. Quanto mais quente estiver, mais branca e eficiente é a luz, mas mais depressa o filamento se evapora.

Ao ar, um fio de carbono ou de metal ao rubro branco arde em instantes, por isso a ampola é esvaziada ou, mais tarde, cheia de um gás que não reage. A bomba liga-se no topo por um tubo de vidro estreito, que depois se funde para o fechar; é a pequena ponta visível nas lâmpadas antigas.

Os fios que levam a corrente ao filamento têm de atravessar o vidro. O vidro e o metal dilatam de forma diferente com o calor, e uma selagem mal ajustada racha quando a lâmpada aquece. A platina dilata quase ao mesmo ritmo que o vidro usado nas primeiras ampolas, por isso essas lâmpadas tinham fios curtos de platina através de um pé de vidro, unidos dentro do casquilho a cobre, mais barato.

Edison concebeu a lâmpada com a rede que a alimentaria. Um filamento de alta resistência elétrica consome pouca corrente a cerca de 100 volts, e as lâmpadas podem assim ligar-se em paralelo, cada uma com o seu interruptor, em condutores de cobre de secção razoável.

Só 5 a 10 % da eletricidade sai como luz visível; o resto perde-se em calor.

Na bomba de Sprengel, cada gota de mercúrio que cai aprisiona um pouco de ar e leva-o pelo tubo abaixo.

Como construir

Uma lâmpada duradoura exige vidreiro, uma bomba de vácuo que atinja uma pressão muito baixa e um filamento dimensionado para a tensão de alimentação. Só o primeiro passo é uma demonstração segura em casa; os outros descrevem como se faziam as primeiras lâmpadas numa oficina.

Ver o princípio. Prender um pedaço curto de mina de lápis fina entre duas pinças metálicas sobre um azulejo de cerâmica e tapá-lo com um frasco de vidro invertido. Alimentá-lo com uma fonte de bancada a cerca de 12 volts, com o limite de corrente no mínimo, e subi-lo devagar. A mina fica laranja e depois parte-se, queimada pelo oxigénio do frasco: daí a necessidade de tirar o ar da ampola.

Carbonizar o filamento. Nas oficinas, laços de bambu ou de fio de algodão eram enterrados em carvão em pó num cadinho com tampa e respiro, aquecido ao rubro num forno durante horas. Sem ar, a fibra transformava-se em carbono em vez de cinza; os gases libertados eram inflamáveis e continham monóxido de carbono.

Selar os fios. Dois fios curtos de platina, ou de outro metal adequado ao vidro, eram fundidos num pé de vidro; prendia-se o filamento às pontas com pasta de carbono e fundia-se o pé no gargalo de uma ampola soprada com um tubo fino de exaustão no topo. Um filamento de baixa tensão tem de ser mais curto e mais grosso do que um de 100 volts.

Bombear e aquecer. Com a ampola na bomba, uma corrente moderada no filamento expulsava os gases do carbono e do vidro. Quando a pressão deixava de baixar, o tubo era fechado à chama.

Pôr o casquilho. Um casquilho de rosca em latão era fixado ao gargalo com gesso, um fio soldado à rosca e o outro ao contacto central.

Segurança. A tensão da rede pode matar: fazer as experiências apenas com uma fonte de bancada com limitação de corrente, abaixo de 24 volts, nunca numa tomada, e nunca pôr uma bateria de automóvel ou de lítio em curto-circuito através de um filamento. Filamentos, vidro e pinças aquecem o bastante para queimar a pele e incendiar papel, por isso trabalhar sobre um azulejo, longe de tudo o que arda. Uma ampola em vácuo pode implodir e projetar vidro: usar óculos de proteção e trabalhar atrás de um ecrã transparente. O vapor de mercúrio é tóxico: não construir nem usar bombas de mercúrio em casa. Nunca aquecer um recipiente fechado: a carbonização liberta gás inflamável e monóxido de carbono e faz-se num forno com respiro, ao ar livre, nunca em casa.

História e evolução

As fibras de bambu carbonizado duravam muito mais do que o papel e o fio das primeiras lâmpadas.

Em 1802, Humphry Davy pôs uma tira de platina a brilhar com a corrente de uma grande pilha, e em 1840 Warren de la Rue colocou uma espiral de platina dentro de um tubo em vácuo. A platina era cara demais; o carbono era barato, mas ardia no ar que as bombas da época deixavam.

Em Inglaterra, Joseph Swan trabalhou em filamentos de papel carbonizado desde cerca de 1850. Um ensaio de 1860, numa ampola mal esvaziada, falhou. A partir de 1875 usou a nova bomba de mercúrio de Sprengel e, entre dezembro de 1878 e fevereiro de 1879, mostrou em Newcastle upon Tyne lâmpadas de carbono que funcionavam. Em dezembro de 1880 instalou lâmpadas em Cragside, a casa do industrial William Armstrong.

Em Menlo Park, Nova Jérsia, o laboratório de Thomas Edison escolheu um filamento de carbono de alta resistência. A 22 de outubro de 1879, uma lâmpada com fio de algodão carbonizado ardeu durante 13,5 horas; a equipa aumentou então a corrente, e cerca de uma hora depois a ampola sobreaqueceu e rachou. Na noite de 31 de dezembro de 1879, Edison iluminou o laboratório e a rua em frente para os visitantes, com filamentos em ferradura de cartão carbonizado. Em 1880 adotou o bambu, com durações relatadas de cerca de 1200 horas, e em 1882 a central de Pearl Street começou a alimentar lâmpadas no sul de Manhattan. Depois de uma disputa de patentes na Grã-Bretanha, as empresas de Swan e de Edison fundiram-se em 1883 como «Ediswan».

Por volta de 1910, o fio de tungsténio trefilado substituiu o carbono e deu uma luz mais branca e eficiente.

Por volta de 1910, William Coolidge, da General Electric, descobriu como trefilar o tungsténio, metal frágil, em fio fino. Ao rubro branco, o tungsténio evapora-se muito mais devagar que o carbono, e as lâmpadas puderam trabalhar mais quentes. Irving Langmuir encheu depois as ampolas com um gás inerte, de início azoto, que abranda ainda mais a evaporação, e enrolou o filamento em espiral. A partir de 2009, a União Europeia e depois muitos outros países começaram a retirar do mercado as lâmpadas incandescentes comuns, substituídas pelas fluorescentes compactas e mais tarde pelos LED.

Números-chave

Primeiro ensaio longo de Edison

13,5 horas, e depois cerca de mais uma com maior potência (22 de outubro de 1879)

Demonstrações de Swan em Newcastle

Dezembro de 1878 a fevereiro de 1879

Filamento de bambu carbonizado

Durações de cerca de 1200 horas relatadas (a partir de 1880)

Parte da energia convertida em luz

Cerca de 5 a 10 %; o resto é calor

Fontes

1. Edison's Incandescent Lamp · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Edison%27s_Incandescent_Lamp
2. Lighting: From Research to Development · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/from-research-to-development
3. Lighting: The Carbon-Filament Lamp · Thomas A. Edison Papers, Rutgers University https://edison.rutgers.edu/life-of-edison/biographical-essays/lighting/the-carbon-filament-lamp
4. Joseph Swan · The Institution of Engineering and Technology (IET) Archives https://www.theiet.org/membership/library-archives/the-iet-archives/biographies/joseph-swan/
5. Joseph Swan · Newcastle University, Northern Innovation https://research.ncl.ac.uk/northerninnovation/exhibits/josephswan/
6. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station

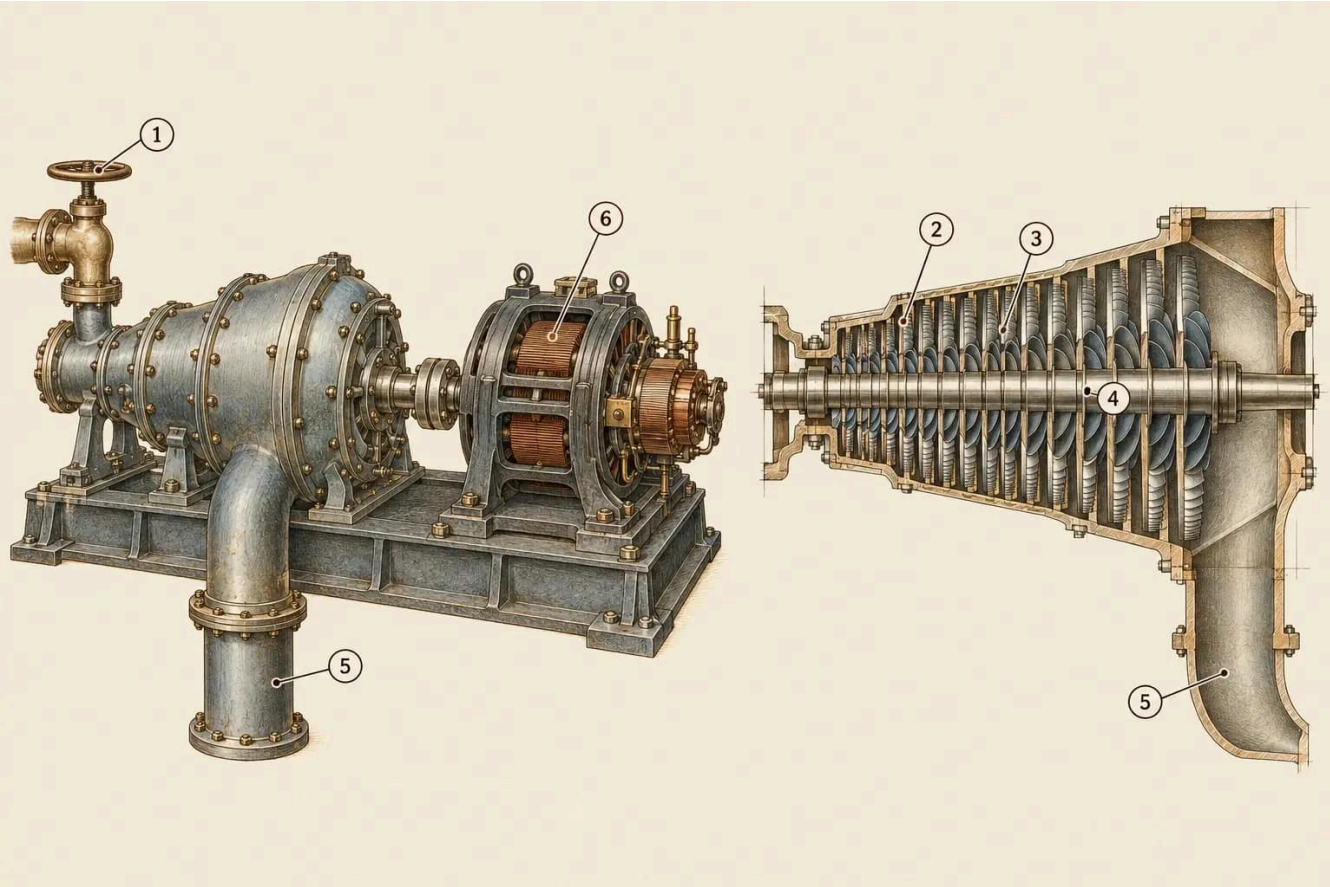
Factos verificados em 2026-10-11

Turbina a vapor

O vapor que move os geradores

1884 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Máquina a vapor (p. 227), Aço (p. 140), Gerador elétrico (p. 274)



1 Entrada de vapor e válvula de corte 2 Pás fixas da carcaça 3 Pás móveis do rotor 4 Veio do rotor 5 Escape para o condensador 6 Dínamo

Numa turbina a vapor, o vapor expande-se através de filas de pás fixas e móveis: a sua pressão transforma-se em velocidade, e essa velocidade faz girar um veio. Charles Parsons acoplou uma a um dínamo em 1884; as suas sucessoras acionam hoje os geradores que produzem a maior parte da eletricidade do mundo.

O que é

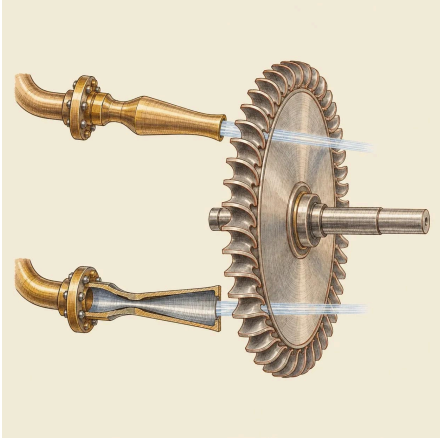
Uma turbina a vapor é uma roda movida a vapor, sem êmbolo nem manivela. O vapor atravessa filas de pás dispostas em volta de um veio e sai da máquina a uma pressão muito mais baixa; a energia que cede pelo caminho faz girar o veio. O movimento é regular e rápido, o que convém a um gerador elétrico.

As centrais a carvão e as nucleares fervem água para as acionar. As centrais a gás de ciclo combinado produzem vapor com o escape quente de uma turbina a gás, e as centrais solares térmicas e a maior parte das geotérmicas fazem o mesmo com o calor do sol ou do subsolo. Todas juntas fazem da turbina a vapor a fonte da maior parte da eletricidade do mundo.

Como funciona

O vapor entrega a sua energia ao expandir-se. Num bocal, uma passagem que se estreita, a pressão desce e o vapor acelera. No ponto mais estreito, a garganta, pode atingir a velocidade do som; para ir mais depressa precisa de uma passagem que alargue depois da garganta, a forma de trompete dos bocais de De Laval. Em cada andar, uma coroa de pás fixas na carcaça funciona como um conjunto de bocais e lança o vapor sobre uma coroa de pás móveis, curvas, montadas no rotor: desviam o jato, e essa mudança de direção empurra-as.

Num andar de ação, quase toda a queda de pressão acontece nos bocais fixos, e as pás móveis limitam-se a receber o jato. Num andar de reação, o tipo escolhido por Parsons, também os canais entre as pás móveis se estreitam: o vapor continua a expandir-se ao atravessá-los e empurra-os para trás ao sair. Num andar Parsons, a expansão divide-se mais ou menos a meias entre a fila fixa e a móvel.



A roda de ação de De Laval: bocais que se alargam enviam os jatos através de uma única coroa de pás.

Se uma grande queda de pressão sair por um único bocal, o jato atinge mais de 1000 metros por segundo, e as pás rendem mais a cerca de metade dessa velocidade. Uma roda única teria de girar perigosamente depressa e precisaria de engrenagens redutoras. Parsons dividiu a queda em muitos degraus pequenos, para que o veio rodasse a um ritmo aproveitável por um dínamo.

À medida que a pressão desce, o vapor ocupa mais espaço, por isso as pás alongam-se em direção ao escape: na última fila das turbinas construídas para Hinkley Point C, em Inglaterra, medem 1,9 metros.

O vapor libertado ao ar livre deixa de se expandir à pressão atmosférica. Um condensador, uma câmara cheia de tubos arrefecidos com água de rio, de mar ou de torre de arrefecimento, devolve ao estado líquido o vapor de escape e mantém um vácuo quase completo à saída da turbina, de modo que o vapor continua a expandir-se e a trabalhar dentro dela antes de condensar. As primeiras turbinas de condensação de Parsons, em Cambridge em 1892, igualaram as melhores máquinas de êmbolo da mesma potência.

Este circuito é o ciclo de Rankine: uma bomba força a água para a caldeira, que a transforma em vapor; o vapor expande-se na turbina e o condensador devolve-o ao estado líquido para a bomba. Bombear um líquido custa pouco comparado com o que o vapor fornece, e por isso o ciclo deixa trabalho útil. A bomba descende da bomba de êmbolo, a caldeira e o condensador da máquina a vapor; um frigorífico percorre um circuito semelhante em sentido inverso.

Numa rede de 50 hertz, um gerador de dois polos montado no veio gira a 3000 rotações por minuto, e a 3600 numa rede de 60 hertz. Os transformadores elevam depois a tensão para as linhas.

Como construir

Uma turbina de central é alimentada por uma caldeira, que é um equipamento sob pressão: não construa nenhuma. Este modelo funciona a ar. É preciso uma forma de tarte descartável em alumínio, duas rolhas de cortiça, uma agulha de tricô, palhinhas, uma caixa de cartão, cola e um secador de cabelo em ar frio ou uma bomba de bicicleta.

Cortar uma roda de pás. Recortar um disco de 10 cm. Fazer 12 a 16 cortes a partir da borda, parando a 2 cm do centro, e torcer todas as pás no mesmo sentido cerca de 30 graus.

Montá-la. Colar a roda a uma rolha enfiada na agulha, que gira dentro de dois pedaços de palhinha fixados de um lado ao outro da caixa.

Comparar um tubo e um bocal. Com a mesma bomba, à mesma distância e com o mesmo ângulo, soprar sobre as pás por um tubo largo e depois por uma palhinha encurtada segura na diagonal, e observar qual faz a roda girar mais depressa.

Juntar um andar. Colar uma segunda roda, com as pás torcidas no mesmo sentido, a uma segunda rolha na mesma agulha, 3 cm atrás da primeira. Entre as duas, fixar à caixa um anel de cartão com as pás torcidas no sentido contrário e um furo central largo o bastante para não tocar na agulha nem nas rodas. Soprar ao longo da agulha através da roda da frente, depois retirar o anel e comparar: as pás fixas deveriam devolver à segunda roda o ar que sai da primeira.

Medir a tensão. Acoplar à agulha, com um pedaço de tubo, um pequeno motor de corrente contínua de modelismo e ligar aos seus terminais um multímetro na escala de volts em contínua. Se a roda conseguir fazer girar o motor, a leitura sobe com a velocidade.

Não experimente o modelo com vapor. Ao ferver, a água dá mais de mil vezes o seu volume em vapor, e um recipiente aquecido fechado ou obstruído acumula pressão até rebentar. As caldeiras verdadeiras seguem projetos certificados, têm válvulas de segurança e são inspecionadas regularmente por uma pessoa competente; uma caldeira caseira não oferece nenhuma destas garantias.

> **Segurança.** O vapor queima numa fração de segundo, mesmo no bico de uma chaleira, onde é invisível: manter mãos e caras afastadas. Nunca fechar, tapar nem obstruir um recipiente aquecido. Uma roda de alumínio a girar tem arestas cortantes e pode projetar uma pá: usar óculos e prender o cabelo. Usar apenas um pequeno motor de modelismo e um multímetro, nunca a rede elétrica, e manter o secador longe da água.

História e evolução

A eolípila de Héron: dois jatos de vapor fazem girar a esfera nos seus pivôs.

No século I da nossa era, Héron de Alexandria descreveu a eolípila, uma bola oca posta a girar pelo vapor que saía de bicos dobrados: o primeiro aparelho conhecido a transformar vapor em rotação. Em 1629, Giovanni Branca publicou o desenho de uma máquina em que um jato de vapor sopra sobre uma roda de pás; provavelmente nunca foi construída. Na Suécia, Gustaf de Laval patenteou em 1883 uma pequena roda de reação para as suas desnatadeiras e, em 1889, uma turbina de ação de um só andar com redutor.

Em 1884, Charles Parsons, sócio da Clarke, Chapman em Gateshead, acoplou diretamente a um dínamo uma turbina de muitos andares de reação. Dava 7,5 quilowatts a 18 000 rotações por minuto, e em 1888 cerca de 200 grupos semelhantes iluminavam navios. Em 1890, a central de Forth Banks, em Newcastle, foi a primeira a usar turbinas.

Para mostrar o que a turbina valia num navio, Parsons construiu a Turbinia, uma lancha de 31 metros que atingiu 34,5 nós. A 26 de junho de 1897, fê-la passar sem convite diante das filas de navios de guerra da revista naval de Spithead. Em 1905, uma comissão do Almirantado recomendou turbinas para todas as classes de navios de guerra.

Nos Estados Unidos, Charles Curtis vendeu os seus direitos à General Electric em 1896. O seu grupo de 5000 quilowatts de 1903, então o mais potente do mundo, media 7,6 metros de altura, contra 18 de uma máquina de êmbolo de potência semelhante. Os grupos chegaram a 660 megawatts em Drax nos anos 1970, e cada uma das duas turbinas construídas para Hinkley Point C tem uma potência nominal de 1770 megawatts.

A Turbinia a toda a velocidade: três turbinas em três veios moviam nove hélices.

Números-chave

Primeiro turbodínamo de Parsons
1884: 7,5 kW a 18 000 rpm

Turbinia
34,5 nós; apresentada em Spithead a 26 de junho de 1897

Parte da eletricidade dos Estados Unidos, 2022
Cerca de 53 %: 42,5 % de centrais a vapor e 10,7 % da parte a vapor dos ciclos combinados

Primeiras turbinas de condensação
Cambridge, 1892: três grupos de 100 kW a 4800 rpm

Velocidade de uma turbina de rede
3000 rpm nas redes de 50 Hz, 3600 nas de 60 Hz; metade nos grandes grupos nucleares

Fontes

1. Parsons' steam turbine generator, 1884 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co51109
2. Charles Algernon Parsons 1854–1931 · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/ap26725/parsons-charles-algernon
3. 100 K.W. Parsons' Radial Flow Steam Turbine alternator with Generator, partly sectioned · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8625819/100-k-w-parsons-radial-flow-steam-turbine-alternator-with-generator-partly-sectioned
4. Forward thinkers: Sir Charles Parsons, inventor of the steam turbine · Institution of Mechanical Engineers https://www.imeche.org/news/news-article/forward-thinkers-sir-charles-parsons-inventor-of-the-steam-turbine
5. Turbinia (1894) · Tyne Built Ships https://www.tynebuiltships.co.uk/T-Ships/turbinia1894.html
6. Curtis 5000-kW Vertical Turbine (ASME Landmark) · Engineering and Technology History Wiki, ASME https://ethw.org/ASME-Landmark:Curtis_5000-kW_Vertical_Turbine
7. Charles Gordon Curtis · ASME https://www.asme.org/topics-resources/content/charles-gordon-curtis
8. Carl Gustaf Patrik De Laval · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/Carl_Gustaf_Patrik_De_Laval
9. C. A. Parsons and Co: Electricity Generation and Transmission · Grace's Guide to British Industrial History https://www.gracesguide.co.uk/C._A._Parsons_and_Co:_Electricity_Generation_and_Transmission
10. Heron of Alexandria · MacTutor, University of St Andrews https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Heron/
11. Giovanni Branca · EBSCO Research Starters https://www.ebsco.com/research-starters/literature-and-writing/giovanni-branca
12. Fluid Machinery, Lecture 24: steam turbines · NPTEL, Indian Institutes of Technology https://archive.nptel.ac.in/content/storage2/courses/112104117/chapter_6/6_9.html
13. Nozzle Design · NASA Glenn Research Center https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/nozzle-design/
14. The Rankine cycle · MIT, Unified Engineering thermodynamics notes https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node65.html
15. How electricity is generated · U.S. Energy Information Administration https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php
16. Arabelle goes to new lengths · Nuclear Engineering International https://www.neimagazine.com/analysis/arabelle-goes-to-new-lengths/
17. Introduction to pressure equipment · Health and Safety Executive https://www.hse.gov.uk/pressure-systems/about.htm
18. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97) · International Association for the Properties of Water and Steam https://www.iapws.org/relif/IF97-Rev.html
19. TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine: Stodola ellipse law and Baumann wetness correction (after D. H. Cooke, J. Eng. Gas Turbines Power 107, 1985) · OpenModelica, Oak Ridge National Laboratory TRANSFORM library https://build.openmodelica.org/Documentation/TRANSFORM.Fluid.Machines.SteamTurbine.html

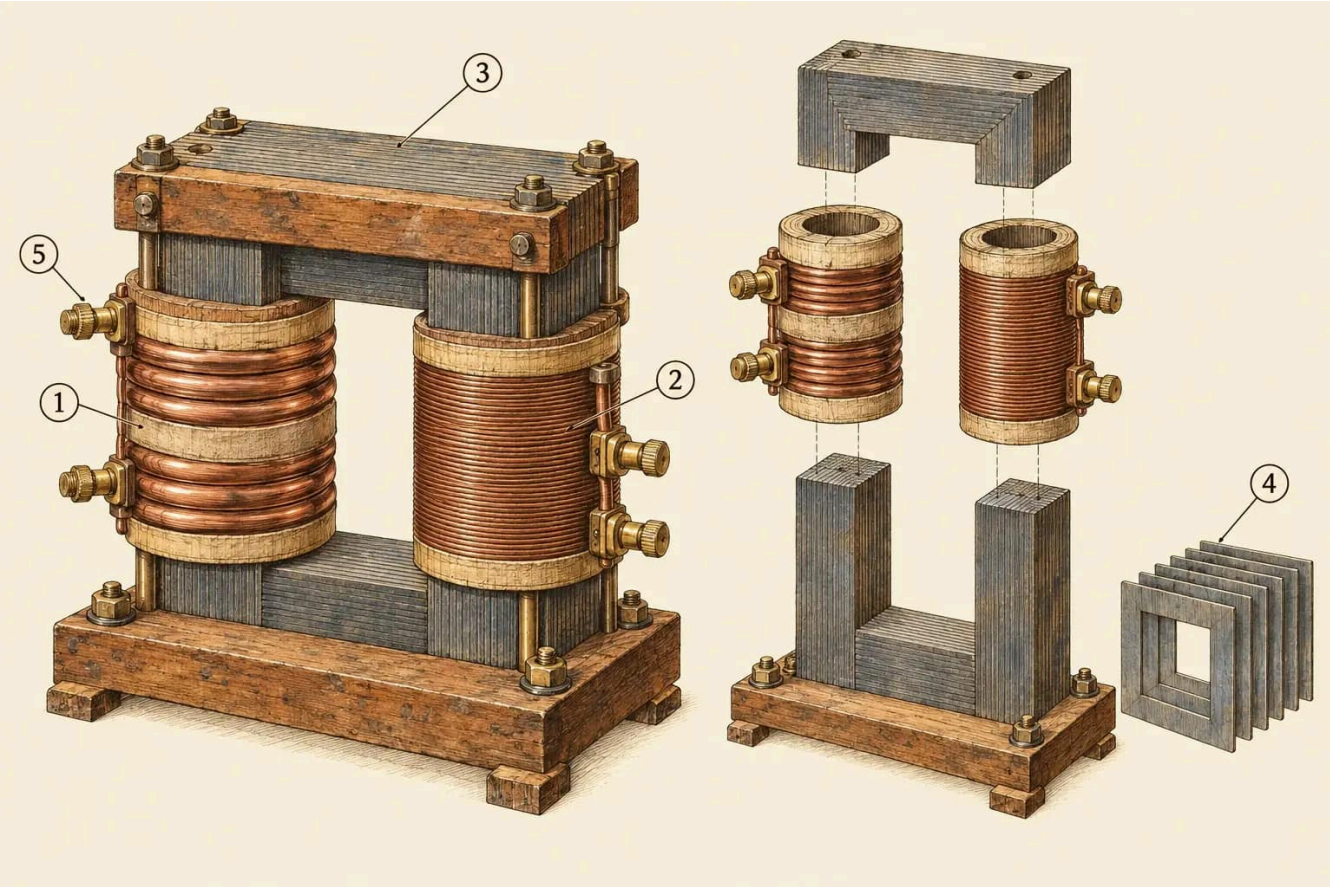
Factos verificados em 2026-10-14

Transformador

Elevar e baixar a tensão

1885 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Gerador elétrico (p. 274), Metalurgia do ferro (p. 136)



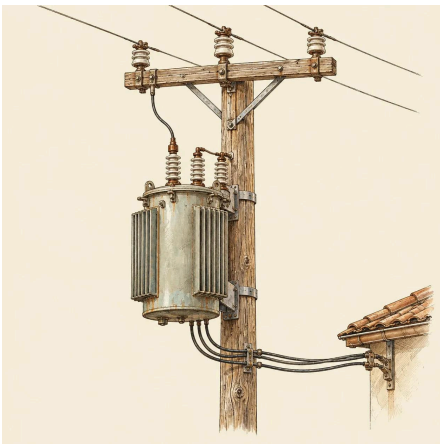
1 Primário: poucas espiras de fio grosso 2 Secundário: muitas espiras de fio fino 3 Núcleo de ferro laminado
4 Chapas finas do núcleo 5 Borne de ligação

Um transformador são duas bobinas de fio sobre o mesmo núcleo de ferro: uma corrente alternada na primeira induz na segunda uma tensão mais alta ou mais baixa, conforme a razão entre os números de espiras. Permite enviar a eletricidade em alta tensão por linhas longas e entregá-la à tensão que os aparelhos usam, e é a principal razão por que a corrente alternada se impôs nas redes do mundo.

O que é

Um transformador muda a tensão de uma corrente alternada. Não tem peças móveis: duas bobinas de fio de cobre isolado, o primário e o secundário, enroladas num núcleo de ferro fechado. A energia entra por uma bobina e sai pela outra a uma tensão mais alta ou mais baixa, e a corrente varia no sentido inverso.

As centrais elevam a tensão para as grandes linhas. As subestações baixam-na por etapas, e um último transformador, num poste ou num pequeno posto, leva-a aos 230 ou 120 volts de uma tomada. Os carregadores e as campainhas têm transformadores pequenos.



Um transformador de poste baixa a tensão da linha da rua até à que se usa em casa.

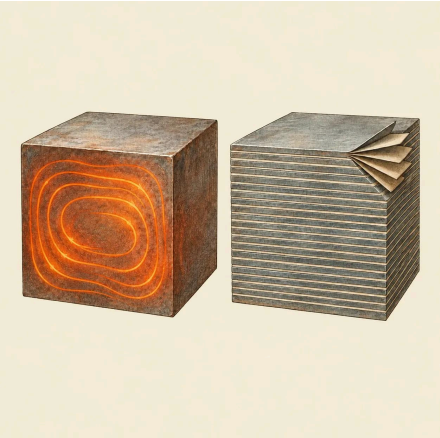
Como funciona

A corrente do primário magnetiza o núcleo de ferro. Como a corrente é alternada, essa magnetização cresce, anula-se e inverte-se, ao ritmo de cinquenta ou sessenta ciclos completos por segundo. O fluxo variável atravessa o secundário e induz uma tensão em cada uma das suas espiras: é a indução descoberta por Faraday, que só atua enquanto o fluxo muda.

Cada espira das duas bobinas abraça o mesmo fluxo, por isso as tensões das bobinas estão na razão dos seus números de espiras. Com 1000 espiras no primário e 50 no secundário, 4600 volts à entrada dão 230 à saída. Num transformador ideal, sem perdas, o lado de baixa tensão leva uma corrente vinte vezes maior e por isso é enrolado com fio mais grosso.

Em corrente contínua nada disto funciona: um fluxo constante não induz nada, e o primário passa a ser um pedaço de fio ligado à fonte, que aquece. Os transformadores precisam de corrente alternada, e foi por isso que a alternada se tornou a regra das redes; as ligações atuais em corrente contínua de alta tensão convertem a alternada em contínua à partida e a contínua em alternada à chegada.

A alta tensão compensa porque o calor perdido num fio cresce com o quadrado da corrente. Enviemos 100 quilowatts por uma linha cujos fios somam 2 ohms. A 1000 volts a corrente é de 100 amperes e os fios dissipam 20 quilowatts, um quinto da potência. A 10 000 volts a corrente desce para 10 amperes e a perda para 200 watts, ou seja 0,2 %.



Um núcleo maciço aquece com as correntes que nele circulam; as chapas finas, isoladas entre si, reduzem-nas muito.

O fluxo também faz circular correntes em anel dentro do próprio ferro, as correntes de Foucault, e um núcleo maciço aqueceria como a placa de um fogão. Por isso o núcleo é uma pilha de chapas com poucas décimas de milímetro, isoladas umas das outras por verniz ou por uma camada de óxido. Estas perdas diminuem com o quadrado da espessura da chapa. Os primeiros construtores usavam pelo mesmo motivo feixes de fio de ferro; os núcleos modernos são de aço ao silício.

As redes usam corrente trifásica: três correntes alternadas desfasadas de um terço de ciclo, levadas por três fios e transformadas por três conjuntos de bobinas no mesmo núcleo.

Como construir

Uma demonstração de bancada a poucos volts, nunca um projeto ligado à rede. São precisos um parafuso de aço com uns 10 cm, um segundo parafuso nu e duas barras chatas de aço, 20 a 30 m de fio de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm, fita isoladora, lixa fina, um multímetro que meça tensão alternada e, para o último teste, um galvanómetro de zero central.

Enrolar as bobinas. Sobre uma camada de fita, enrolar no parafuso um primário de 100 espiras. Cobri-lo com fita, enrolar por cima um secundário de 100 espiras, voltar a pôr fita e acrescentar por cima outro de 50. Lixar o esmalte de cada ponta.

Escolher uma fonte segura. Usar um adaptador de tomada comprado cuja etiqueta indique saída alternada («AC output») de 12 volts no máximo, ou um gerador de funções que dê uma sinusoide de poucos volts a cerca de 1 kHz, sem componente contínua. A maior parte dos adaptadores dá corrente contínua e não serve. Uma lâmpada incandescente de automóvel de 12 volts e cerca de 5 watts em série com o primário limita a corrente.

Medir. Ler a tensão alternada aos terminais do primário e de cada secundário, e depois desligar: o parafuso maciço aquece. Com o adaptador leem-se poucas décimas de volt, porque a maior parte da tensão cai na lâmpada. A bobina de 50 espiras dá cerca de metade da tensão da de 100, e as duas ficam abaixo da tensão do primário, porque o fluxo de um parafuso sozinho se fecha pelo ar. Pousar o parafuso nu ao lado do enrolado e unir as cabeças e as pontas com as barras de aço, para que o ferro forme um quadro fechado à volta das bobinas: as leituras sobem.

Experimentar com uma pilha. Com uma pilha de 4,5 volts em vez do adaptador, e a lâmpada ainda em série, ligar ao secundário um galvanómetro de zero central na escala menos sensível ou através de uma resistência de alguns quilo-ohms. O ponteiro salta para um lado ao fechar o circuito, para o outro ao abri-lo, e fica em zero entretanto.

Ler uma chapa de características. Num transformador de campainha, procurar as tensões de entrada e de saída, por exemplo 230 V / 12 V, e a potência em voltampères (VA). Os aparelhos grandes acrescentam frequência, arrefecimento e impedância; essas chapas leem-se do lado de fora da vedação.

> **Segurança.** Nunca dar a um secundário mais espiras do que ao primário, e lembrar que um adaptador em vazio pode dar um quinto acima do que indica a etiqueta. Abrir um circuito que passa por uma bobina produz um breve pico de tensão: cortar com um interruptor ou com um fio segurado pelo isolamento, nunca com os dedos nas pontas descarnadas. Nunca enrolar bobinas para a rede, nem abrir, modificar ou refazer a cablagem de aparelhos que funcionem com a rede, mesmo desligados da tomada: os transformadores de micro-ondas e de reclamos néon fornecem correntes mortais. Um transformador abaixador alimentado ao contrário eleva a tensão, e os condensadores de um aparelho podem continuar carregados depois de desligado. As bobinas ficam quentes depois do uso. Nunca subir a postes, entrar em subestações ou tocar em linhas caídas. As instalações ligadas à rede são trabalho para um eletricista credenciado.

História e evolução

Michael Faraday mostrou a indução em agosto de 1831 com o seu anel de ferro de duas bobinas, Joseph Henry descobriu-a por conta própria na América, e por volta de 1850 Heinrich Ruhmkorff, em Paris, fez da bobina de indução um instrumento corrente nos laboratórios.

Em 1884, Lucien Gaulard e John Dixon Gibbs acenderam lâmpadas ao longo de uma linha de 40 km entre Turim e Lanzo com os seus «geradores secundários», ligados em série e com núcleos de ferro abertos: acender uma lâmpada perturbava as outras.

Nas oficinas Ganz de Budapeste, Károly Zipernowsky, Miksa Déri e Ottó Bláthy perceberam que um núcleo de ferro fechado e transformadores ligados em paralelo manteriam a tensão estável. Pediram patentes entre janeiro e março de 1885, chamaram ao aparelho «transformador» e, em maio, iluminaram com o seu sistema a Exposição Nacional de Budapeste.

Um dos primeiros transformadores de Budapeste: o fio de ferro envolve o anel de cobre e fecha o circuito magnético.

George Westinghouse comprou os direitos de Gaulard e Gibbs, e o seu engenheiro William Stanley construiu transformadores de núcleo fechado que iluminaram a rua principal de Great Barrington, no Massachusetts, em março de 1886. A corrente contínua de Edison, a cerca de 110 volts, só chegava a algumas ruas à volta de cada central, e as suas empresas fizeram campanha sobre os perigos da alternada. Westinghouse iluminou em alternada a Exposição de Chicago de 1893, e em 1896 a energia das cataratas do Niágara chegou a Buffalo.

Por volta de 1888, Galileo Ferraris e Nikola Tesla tinham obtido com correntes desfasadas um campo girante para motores; em 1891, uma linha trifásica levou 300 cavalos por 175 km, de Lauffen a Frankfurt. As grandes linhas atuais trabalham a centenas de milhares de volts.

Números-chave

Princípio descoberto
29 de agosto de 1831, anel de ferro de Faraday na Royal Institution

Primeira distribuição em alternada com transformadores nos Estados Unidos
Great Barrington (Massachusetts), março de 1886 (William Stanley)

Perdas na linha
Com a mesma potência e a mesma linha: dez vezes mais tensão, cem vezes menos perdas

Transformador de núcleo fechado
Pedidos de patente apresentados entre janeiro e março de 1885 por Zipernowsky, Déri e Bláthy, das oficinas Ganz de Budapeste

Linha Lauffen-Frankfurt, 1891
175 km a 15 000 volts, trifásica, mais de 75 % da energia entregue

Fontes

1. Michael Faraday's ring-coil apparatus · The Royal Institution https://rigb.org/node/143
2. History of the Transformer (F. Uppenborn, 1889) · Project Gutenberg https://gutenberg.org/files/56365/56365-h/56365-h.htm
3. Centenary of the transformer (P. Asztalos, 1986) · Periodica Polytechnica Electrical Engineering, Budapest University of Technology and Economics https://pp.bme.hu/ee/article/view/4637
4. Gaulard and Gibbs secondary generator · Museo Galileo, Florence https://catalogue.museogalileo.it/object/GaulardGibbsSecondaryGenerator.html
5. Milestones: Alternating Current Electrification, 1886 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Alternating_Current_Electrification,_1886
6. Milestones: Long Distance Electric Power Transmission Using Three-Phase Alternating Current, 1891 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Long_Distance_Electric_Power_Transmission_Using_Three-Phase_Alternating_Current,_1891
7. Milestones: Rotating Fields and Early Induction Motors, 1885-1888 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Rotating_Fields_and_Early_Induction_Motors,_1885-1888
8. Milestones: Pearl Street Station, 1882 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station,_1882
9. History of Transformers · Edison Tech Center https://edisontechcenter.org/Transformers.html
10. The War of the Currents: AC vs. DC Power · U.S. Department of Energy https://www.energy.gov/articles/war-currents-ac-vs-dc-power
11. Eddy currents · schoolphysics https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetic%20induction/text/Eddy_currents/index.html
12. Transformer · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html
13. Introduction to Electric Power Systems (J. L. Kirtley), 3.4 Transformers · LibreTexts https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electro-Optics/Introduction_to_Electric_Power_Systems_(Kirtley)/03%3A_Polyphase_Networks/3.04%3A_Transformers
14. Commission Regulation (EU) No 548/2014, Annex I: ecodesign requirements for transformers · legislation.gov.uk https://www.legislation.gov.uk/eur/2014/548/annex/I/division/1/adopted

Factos verificados em 2026-10-14

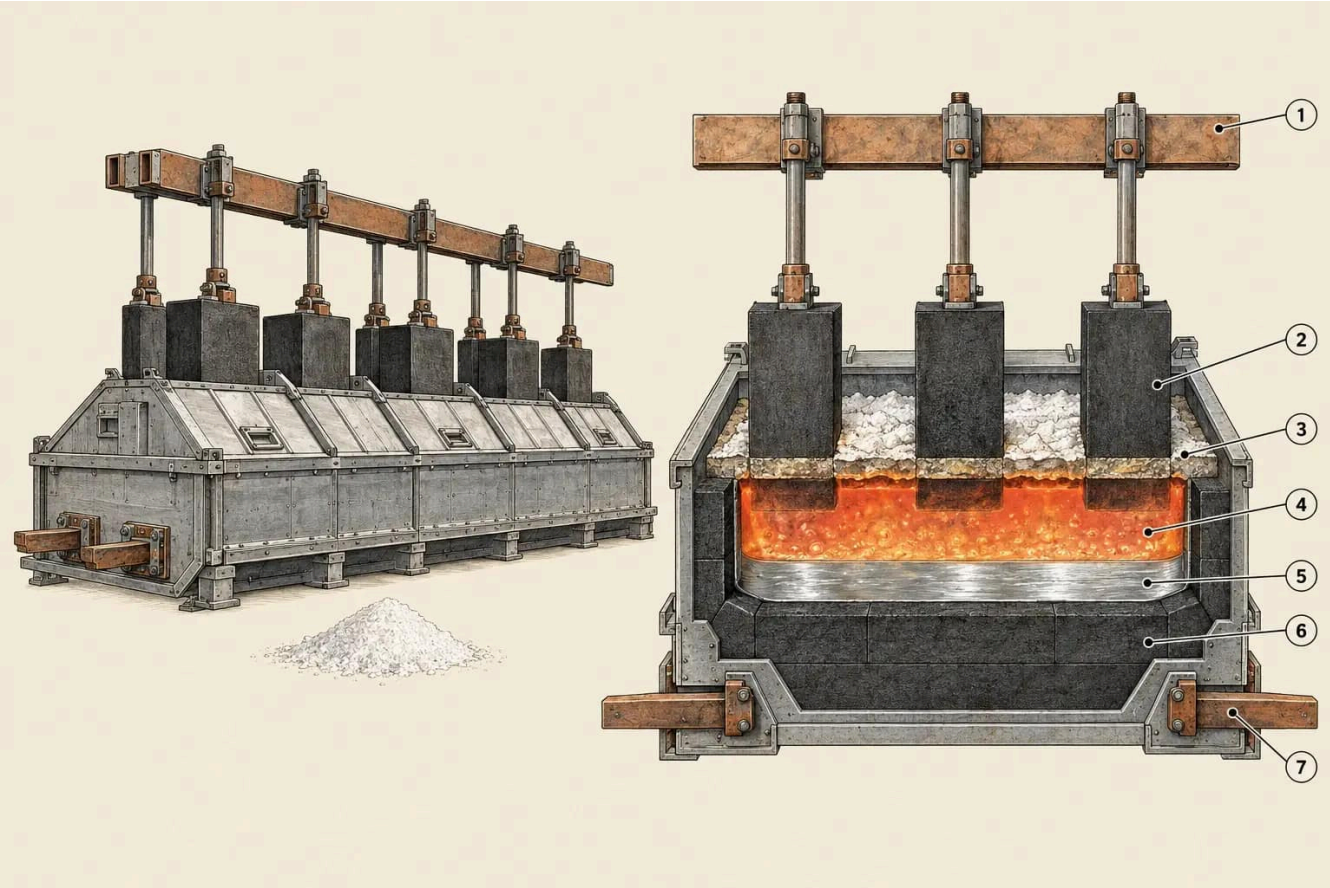
Alumínio

Alumina transformada em metal pela corrente

1886 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Gerador elétrico (p. 274), Turbina hidráulica (p. 265)

Conduz a: Avião (p. 352)



1 Barramento e hastes dos ânodos 2 Ânodos de carbono 3 Crosta de banho solidificado e alumina 4 Banho de criolite fundida com alumina dissolvida 5 Alumínio líquido 6 Revestimento catódico de carbono 7 Caixa de aço e barras coletoras

O alumínio é o metal mais abundante da crosta terrestre, mas está preso em óxidos que nem o fogo nem o carvão vegetal conseguem quebrar. Desde 1886 obtém-se refinando a bauxite em alumina, dissolvendo a alumina em criolite fundida e decompondo-a com uma forte corrente contínua.

O que é

O alumínio é um metal leve e prateado, com cerca de um terço da densidade do aço. Constitui perto de 8 % da massa da crosta terrestre, mais do que qualquer outro metal, e no entanto quase nunca aparece em estado nativo. Está ligado ao oxigénio nas argilas, nos feldspatos e na maior parte das rochas comuns, e essa ligação resiste ao fogo de carvão vegetal que liberta o ferro ou o cobre.

O seu minério é a bauxite, uma rocha avermelhada formada pela meteorização tropical. Uma refinaria transforma-a em alumina, um pó branco de óxido, e uma fábrica de eletrólise decompõe essa alumina com corrente na cuba

Hall-Héroult da prancha. Continua a ser a única via industrial para produzir alumínio novo.

Como funciona

Da bauxite à alumina. No processo Bayer, a bauxite moída é atacada sob pressão por soda cáustica quente, entre 140 e 280 °C conforme o minério. Os minerais de alumínio dissolvem-se; os óxidos de ferro e a areia depositam-se como um resíduo vermelho. Arrefecido e semeado com cristais de uma carga anterior, o licor deixa crescer hidróxido de alumínio, que é calcinado até cerca de 1100 °C e se torna alumina.

Do minério ao metal: duas a três toneladas de bauxite dão uma tonelada de alumina, e duas toneladas de alumina uma de alumínio.

Da alumina ao metal. A alumina funde acima de 2000 °C, mas um banho de criolite fundida, um fluoreto de sódio e alumínio, com fluoreto de alumínio adicionado, dissolve-a por volta de 950–980 °C. A cuba é uma caixa de aço revestida de blocos de carbono, que formam o elétrodo negativo. Os ânodos de carbono mergulham no banho, suspensos por hastes presas a um pesado barramento.

A corrente contínua passa dos ânodos para o revestimento através do banho e decompõe a alumina dissolvida. O alumínio, mais denso do que o banho, junta-se líquido no fundo. O oxigénio vai para os ânodos e queima o seu carbono em dióxido de carbono, 0,4 a 0,5 kg de carbono por quilograma de metal, pelo que os ânodos gastos são substituídos à vez. Uma crosta de banho solidificado e alumina guarda o calor. Por ela junta-se alumina, e o metal é aspirado a intervalos.

A corrente também mantém o banho fundido. As cubas estão ligadas em série e cada uma leva bem mais de cem mil amperes a apenas quatro ou cinco volts. Cada átomo de alumínio exige três eletrões, por isso a cuba gasta cerca de 13 a 15 quilowatts-hora por quilograma, e menos de metade vai para a reação propriamente dita. A eletricidade é o maior custo, e as fábricas instalam-se onde ela é barata, junto às barragens do Canadá, da Noruega ou da Islândia ou perto de grandes centrais, com transformadores e retificadores para obter corrente contínua.

Ao ar, forma-se logo sobre o metal uma película de óxido com poucos nanómetros, que trava a corrosão e se refaz quando riscada. Alguns por cento de cobre, magnésio, silício ou zinco tornam-no resistente o bastante para a aviação. A reciclagem só tem de refundir sucata: 8,3 gigajoules por tonelada contra 186 do metal novo em 2019, uma poupança de cerca de 95 %.

Como se constrói

Não produza nem funda alumínio em casa. O banho liberta fumos fluorados tóxicos e trabalha perto de 1000 °C, e uma gota de água presa sob o metal líquido transforma-se de repente em vapor e projeta o metal; latas fundidas juntam os fumos de tintas e vernizes. Uma oficina pode separar o metal, trabalhá-lo a frio e mostrar a eletrólise com poucos volts.

Separar. Um íman atrai o aço, não o alumínio. Para o distinguir de outros metais não magnéticos, pese um pedaço e meça a água que desloca: o alumínio dá cerca de 2,7 gramas por centímetro cúbico, o cobre e o latão mais de 8. Passe por água os restos de comida e ponha à parte as peças pintadas ou plastificadas.

Dobrar e furar. As ligas macias dobram-se a frio num torno entre calços de madeira dura; as duras racham numa dobra viva, por isso curvam-se em torno de um bloco arredondado. Para furar, marque com um punção, prenda

O íman agarra-se à lata de aço e ignora a lata de alumínio.

a chapa sobre madeira e use uma broca afiada com uma gota de óleo: uma chapa segura à mão pode prender e rodar.

Unir a frio. O alumínio solda-se mal: o seu óxido funde acima de 2000 °C, o metal a 660 °C, e não fica rubro antes de ceder. Une-se com rebites, parafusos ou cola estrutural, de preferência com fixações de alumínio. Com humidade, e sobretudo junto ao mar, o alumínio corrói-se em contacto com cobre, aço e até aço inoxidável; separe-os com anilhas de plástico ou uma demão de tinta.

Mostrar o princípio. Ponha duas minas de lápis num copo de água com uma colher de chá de carbonato de sódio (cristais de soda) e ligue-as a uma pilha de 9 volts. Na mina negativa borbulha hidrogénio e na positiva oxigénio: a corrente decompõe a água como a cuba decompõe a alumina.

> **Segurança.** Nada de metal fundido nem de eletrólise de sais fundidos fora de uma fábrica. A chapa cortada fere: use luvas para a manusear e rebarbe cada corte, mas tire-as antes de usar o berbequim, e proteja os olhos. O carbonato de sódio irrita a pele e os olhos, por isso use óculos. Nunca use sal de cozinha na demonstração, porque liberta cloro; mantenha o hidrogénio longe de chamas e use só uma pilha pequena, nunca a rede elétrica.

História e evolução

Em 1825, Hans Christian Ørsted obteve a partir do cloreto de alumínio uma amostra minúscula e impura. Friedrich Wöhler preparou um pó em 1827 e pequenas esferas em 1845.

Em França, Henri Sainte-Claire Deville reduziu o cloreto com sódio e apresentou um lingote na Exposição Universal de Paris de 1855. Napoleão III apoiou-o e, segundo se conta, reservava talheres de alumínio para os convidados mais importantes. Em dezembro de 1884, uma pirâmide de alumínio de 100 onças coroou o Monumento a Washington, a 1,10 dólares a onça, mais ou menos o preço da prata.

Talheres de alumínio do Segundo Império, quando o metal valia tanto como a prata.

Em 1886, dois homens de 22 anos chegaram à mesma solução. A 23 de fevereiro, em Oberlin, no Ohio, Charles Martin Hall, com pilhas feitas em casa, obteve glóbulos de alumínio a partir de alumina dissolvida em criolite. Paul Héroult, que gastara a herança num dínamo, registou uma patente francesa a 23 de abril. A empresa de Hall em Pittsburgh, a futura Alcoa, começou a produzir em 1888; o processo de Héroult arrancou em Neuhausen, junto às quedas do Reno. Karl Josef Bayer patenteou em 1887 a precipitação da alumina com cristais de semente e em 1892 o ataque da bauxite sob pressão; juntos tornaram barata a alumina pura.

Uma libra custava cerca de 4,86 dólares em 1888 e menos de um dólar no início da década de 1890. O motor dos irmãos Wright, em 1903, tinha o cárter em alumínio; ligas tratadas termicamente como o duralumínio, vendidas a partir de cerca de 1909, passaram para os dirigíveis e depois para os aviões. Em 2025, as fábricas de eletrólise produziram cerca de 74 milhões de toneladas de metal novo.

Números-chave

Temperatura da cuba
Cerca de 950–980 °C

Do minério ao metal
2–3 t de bauxite por tonelada de alumina; cerca de 2 t de alumina por tonelada de metal

Produção primária
Cerca de 74 milhões de toneladas em 2025 (estimativa do USGS), 45 milhões delas na China

Eletricidade
Cerca de 13–15 kWh por quilograma de alumínio

Reciclagem
Cerca de 5 % da energia do metal novo (8,3 contra 186 GJ por tonelada, 2019)

Fontes

1. Aluminum: Common Metal, Uncommon Past · Science History Institute, Distillations https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/aluminum-common-metal-uncommon-past/
2. The Washington Monument's aluminum capstone · National Park Service https://www.nps.gov/articles/000/wamocap.htm
3. Production process: Refining · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=374
4. Production process: Reduction · International Aluminium Institute https://alustory.international-aluminium.org/?p=1905
5. Aluminium recycling saves 95% of the energy needed for primary aluminium production · International Aluminium Institute https://international-aluminium.org/landing/aluminium-recycling-saves-95-of-the-energy-needed-for-primary-aluminium-production/
6. Alumina refining · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/?p=227
7. Aluminium smelting · Australian Aluminium Council https://aluminium.org.au/how-aluminium-is-made/aluminium-smelting-chart/
8. Ionic liquids as electrolytes in aluminum electrolysis (Wu et al., 2022) · Frontiers in Chemistry https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2022.1014893/full
9. Aluminum (Mineral Commodity Summaries 2026) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-aluminum.pdf
10. Aluminum (Al) · U.S. Geological Survey https://pubs.usgs.gov/sir/2017/5118/elements/Aluminum/Al_txt.html
11. Aluminium : historique · Encyclopædia Universalis https://www.universalis.fr/encyclopedie/aluminium/2-historique/
12. Hall, Charles · Encyclopedia.com https://www.encyclopedia.com/science/news-wires-white-papers-and-books/hall-charles
13. K. J. Bayer, Process of obtaining alumina, US 382,505 (filed 1887) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US382505A/en
14. K. J. Bayer, Process of making alumina, US 515,895 (filed 1892) · Google Patents https://patents.google.com/patent/US515895A/en
15. Aluminium · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium

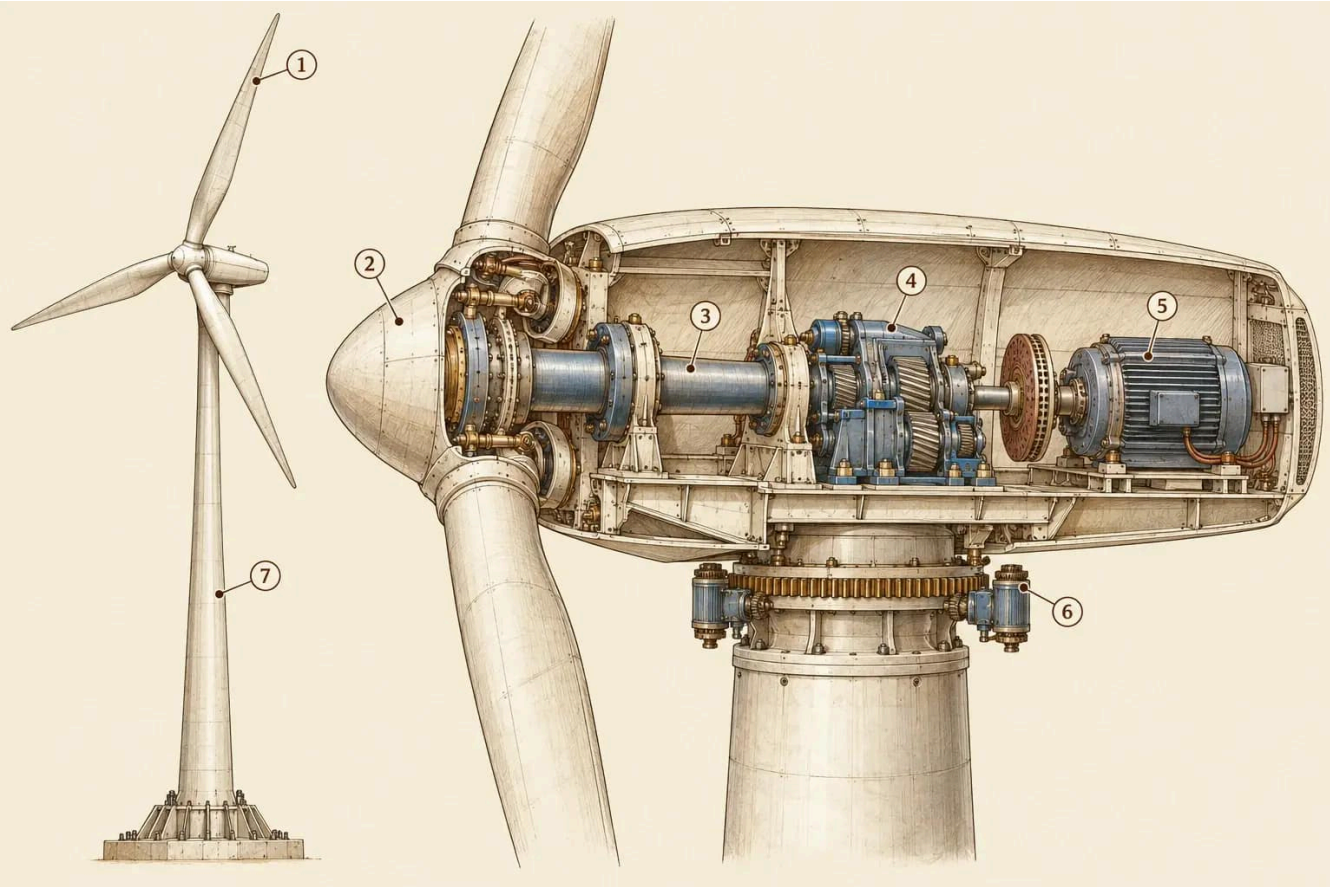
Factos verificados em 2026-10-14

Turbina eólica

O vento transformado em eletricidade

1887 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Moinho de vento (p. 185), Gerador elétrico (p. 274), Bateria de chumbo-ácido (p. 303), Aço (p. 140)



1 Pá 2 Cubo com rolamentos de passo 3 Veio principal (lento) 4 Caixa multiplicadora 5 Gerador 6 Coroa e motores de orientação 7 Torre

Uma turbina eólica é um rotor de pás compridas, com perfil de asa, que o vento faz girar e que aciona um gerador elétrico no alto de uma torre. As pequenas carregam baterias; as grandes, com rotores de mais de cem metros de diâmetro, injetam energia na rede através de um transformador.

O que é

Uma turbina eólica é um moinho de vento feito para produzir eletricidade: o rotor faz girar um veio, e o veio aciona um gerador. A máquina aqui desenhada tem a disposição de quase todas as grandes turbinas de hoje. Três pás esguias (1) ficam de frente para o vento diante de uma torre de aço (7), e a nacela, no topo, guarda o trem de transmissão e roda para acompanhar o vento.

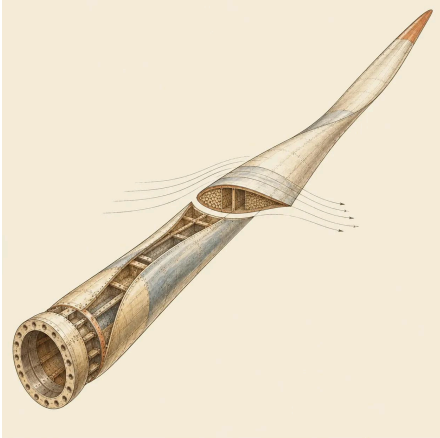
Como funciona

A potência do vento é $P = ½·ρ·A·v^3$, em que ρ é a massa volúmica do ar, cerca de 1,2 kg/m^3, A a área varrida pelo rotor e v a velocidade do vento. Um rotor de 3 metros de diâmetro varre cerca de 7,1 m^2. A 6 m/s, o vento que o

atravessa transporta ½ × 1,2 × 7,1 × 6^3 ≈ 920 watts; a 12 m/s, oito vezes mais, cerca de 7,4 kW. É por isso que as turbinas se erguem em torres altas, onde o vento sopra com mais força.

Nenhum rotor consegue ficar com toda essa potência. Retira energia travando o ar, mas o ar travado tem de continuar a sair por trás, ou não entraria ar novo. Por volta de 1920, o físico alemão Albert Betz mostrou que a parte máxima é 16/27, ou seja, 59,3%. As turbinas reais captam em geral 35–45% na sua gama de funcionamento; um grande rotor moderno aproxima-se de 48% no seu melhor ponto de funcionamento, e a caixa multiplicadora e o gerador perdem ainda um pouco.

As pás modernas são perfis aerodinâmicos e trabalham por sustentação, como a asa de um avião. Ao deslocar-se depressa através do vento, a pá recebe ar que vem sobretudo de lado, e a sustentação no seu perfil puxa-a na rotação. A razão de velocidade de ponta, a velocidade da ponta da pá dividida pela do vento, ronda 7 nas turbinas de três pás ligadas à rede: com vento de 10 m/s, as pontas andam a cerca de 70 m/s.



A secção da pá é uma asa. A pá é torcida ao longo do comprimento porque a ponta anda muito mais depressa do que a raiz.

No cubo (2), cada pá assenta num grande rolamento que permite rodá-la sobre o seu próprio eixo. Este controlo do passo permite ao rotor captar o máximo possível abaixo da velocidade nominal do vento e limitar a potência acima dela. A turbina arranca à velocidade de ligação, cerca de 3–5 m/s, e atinge a potência máxima à velocidade nominal. Acima da velocidade de corte, cerca de 25–29 m/s, põe as pás em bandeira, o rotor abranda e um travão segura-o. Um cata-vento na nacela indica a direção do vento, e os motores de orientação (6) rodam a nacela sobre uma coroa dentada, como fazia num moinho o leque de orientação, uma pequena roda de pás na traseira do capelo.

Nas máquinas grandes, o veio principal (3) gira a cerca de 8–20 rotações por minuto. Numa transmissão clássica, uma caixa multiplicadora (4) acelera esse movimento cerca de cem vezes para o gerador (5), que gira a mais de mil rotações por minuto. Outros modelos usam um gerador de velocidade média com menos engrenagens, ou dispensam a caixa com um gerador grande e lento de muitos polos magnéticos. A eletrónica de potência ajusta a corrente à frequência da rede, e um transformador elevador sobe a tensão.

Como se constrói

Uma pequena turbina pode carregar uma bateria de chumbo de 12 volts. Construa-a a partir de um projeto publicado e testado que especifique as pás, o mastro e a proteção contra o disparo; os passos seguintes mostram o que esse projeto deve cobrir. Informe-se primeiro sobre as regras de urbanismo locais e fale com os vizinhos.

Escolher o local. Junto ao solo, o vento é fraco e turbulento. Uma regra corrente põe a parte de baixo do rotor pelo menos 9 metros acima de qualquer obstáculo num raio de 90 metros. Um anemómetro à altura prevista dá uma primeira ideia em algumas semanas; um ano inteiro mostra as estações.

Escolher o gerador. Um motor de corrente contínua de ímanes permanentes, por exemplo de uma passadeira de corrida, serve de gerador. Faça-o girar com um berbequim a velocidades conhecidas, com uma carga de 12 volts ligada, e meça tensão e corrente: tem de dar uma corrente útil acima de cerca de 14 volts a umas centenas de rotações por minuto, uma velocidade que o rotor consiga atingir.

Fazer o rotor. Os projetos de máquinas pequenas cortam muitas vezes as pás de um tubo de plástico ou talham-nas numa madeira leve de fio direito. Respeite o tipo de tubo, a espessura da parede e a forma da pá do projeto: as pás de tubo cansam-se e podem fissurar na raiz. Aperte a raiz de cada pá entre duas placas metálicas no cubo,

Pás cortadas de um tubo de plástico, um motor de passadeira e uma cauda de chapa.

equilibre o rotor até ele ficar parado em qualquer posição e substitua uma pá à primeira fissura. Um rotor de 1,1 metros de diâmetro recebe cerca de 70 watts de vento a 5 m/s; 10 a 20 watts na bateria é uma estimativa grosseira que só uma medição pode confirmar.

Mastro e cauda. Uma cauda plana num braço mantém o rotor virado para o vento. Monte o motor sobre um pivô no topo de um tubo de aço com pé articulado, e ancore as espias a uma distância do pé entre metade e três quartos da altura do mastro, para o poder baixar até ao chão. Use o mastro do projeto, ancoragens dimensionadas para a carga e um guincho manual para o levantar.

Proteger contra o disparo. Com uma rajada, ou sem carga elétrica, um rotor pode girar até se partir. Uma turbina ao ar livre precisa de uma proteção automática: muitas pequenas turbinas têm uma cauda articulada que roda o rotor para fora do vento forte; outras contam com a perda aerodinâmica ou com pás de passo variável. Sem essa proteção, uma turbina não deve funcionar ao ar livre; e mesmo com ela, pare e baixe uma pequena turbina antes de uma tempestade.

A ligação elétrica. Ligue o gerador à bateria através de um fusível e de um díodo de bloqueio, que impede a bateria de pôr o motor a girar. Um regulador de desvio, dimensionado para a corrente do gerador e ligado segundo o seu próprio esquema, vigia a tensão da bateria e envia a potência para uma carga de desvio quando ela está cheia: resistências capazes de absorver toda a potência à tensão da bateria, porque um aquecedor de rede quase nada consome a 12 volts. Um interruptor que curto-circuita o gerador trava o rotor com vento fraco, mas não o imobiliza; prenda uma pá ao mastro antes de mexer no rotor.

Para um modelo de mesa, ponha um pequeno motor com pás de cartolina diante de uma ventoinha e meça a tensão em cada velocidade.

> **Segurança.** As pontas das pás andam muito mais depressa do que parece: nunca fique no plano do rotor. Nunca suba a um mastro enquanto a turbina puder girar; pare-a e baixe o mastro. Mantenha toda a gente a uma distância maior do que a altura do mastro quando o levanta ou baixa, e mantenha o mastro e a sua zona de queda bem longe de linhas elétricas aéreas. As baterias de chumbo contêm ácido sulfúrico e libertam hidrogénio explosivo durante a carga: guarde-as numa caixa ventilada, longe de faíscas e das divisões habitadas. Um curto-circuito nos terminais de uma bateria pode derreter fios e provocar um incêndio. Nunca ligue você mesmo uma turbina à instalação de um edifício ou à rede: é preciso um inversor homologado e um eletricista qualificado.

História e evolução

Em julho de 1887, James Blyth, professor em Glasgow, ergueu um moinho de quatro velas de pano junto à sua casa de férias em Marykirk, na Escócia. O seu dínamo carregava acumuladores que iluminavam a casa. Em 1883 tinha sido mostrado em Viena um dínamo movido pelo vento, mas o de Blyth é o primeiro bem documentado em uso diário.

No inverno de 1887-1888, Charles F. Brush construiu em Cleveland, no Ohio, um dínamo eólico com 144 pás de cedro sobre uma torre de 18 metros. Carregava 12 baterias. O seu dínamo é em geral indicado como de 12 kW, embora um artigo de jornal posterior fale de 1,2 kW. A partir de 1891, Poul la Cour ensaiou turbinas eólicas em Askov, na Dinamarca; mais tarde formou também eletricistas rurais para as construir.

As quintas americanas compraram turbinas de carga em grande número; só os irmãos Jacobs fabricaram cerca de 20 000 antes de fechar em 1956, quando a rede chegou aos campos. A 19 de outubro de 1941, a turbina de duas

pás Smith-Putnam, no Vermont, com 1,25 MW, foi ligada à rede; em 1945 perdeu uma pá. Em 1957, Johannes Juul construiu em Gedser, na Dinamarca, uma turbina de 200 kW com três pás, regulação por perda aerodinâmica e gerador assíncrono. Este «conceito dinamarquês» marcou as turbinas construídas a partir do final dos anos 1970.

Em 2025 foi montado para ensaios na China um protótipo de 26 MW com um rotor de 310 metros. Nesse ano, o vento produziu 8,5% da eletricidade mundial.

A máquina de Brush em Cleveland: 144 pás de cedro num rotor de 17 metros.

Números-chave

Primeira eletricidade eólica de uso regular
James Blyth, Marykirk (Escócia), julho de 1887

Limite de Betz
No máximo 59,3% (16/27) da potência do vento; os grandes rotores chegam perto de 48%

Parte da eletricidade mundial
8,5% em 2025

Potência do vento
$P = ½·ρ·A·v^3$: o dobro da velocidade dá oito vezes mais potência

Gama de funcionamento
Arranca por volta de 3–5 m/s; para acima de cerca de 25–29 m/s

Fontes

1. July 1887: James Blyth harnesses the wind · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2022/07/james-blyth-harnesses-wind
2. James Blyth (1839-1906) · The Mills Archive Trust https://millsarchive.org//biography/james-blyth-1839-1906
3. Charles Brush Used Wind Power 120 Years Ago · Teaching Cleveland https://teachingcleveland.org/charles-brush-used-wind-power-120-years-ago/
4. Charles Brush and Some Notes on Early Wind Turbine Development (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/charles-brush-and-some-notes-on-early-wind-turbine-development/
5. Charles F. Brush · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_F._Brush
6. Old Wind and Electricity (Engines of Our Ingenuity, episode 552, J. H. Lienhard) · University of Houston https://engines.egr.uh.edu/episode/552
7. Poul la Cour · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Poul_la_Cour
8. The inventor who turned a folk high school into a laboratory · Carlsberg Foundation https://carlsbergfondet.dk/en/anniversary-stories/the-inventor-who-turned-a-folk-high-school-into-a-laboratory/
9. Flashbacks: The First Wind Power Boom · NRECA, RE Magazine https://www.cooperative.com/remagazine/articles/Pages/Flashbacks-The-First-Wind-Power-Boom.aspx
10. Original Company · Jacobs Wind https://jacobswind.net/history/original-company/
11. 79th anniversary of first wind turbine interconnection with the grid in North America (P. Gipe) · Wind-Works https://wind-works.org/79th-anniversary-of-first-wind-turbine-interconnection-with-the-grid-in-north-america/
12. Gedser wind turbine · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gedser_wind_turbine
13. How a Wind Turbine Works (text version) · U.S. Department of Energy, Wind Energy Technologies Office https://www.energy.gov/eere/wind/how-wind-turbine-works-text-version
14. Betz limit · Energy Education, University of Calgary https://energyeducation.ca/encyclopedia/Betz_limit
15. Simulation of Variable Speed Wind Turbines based on Open-Source Solutions (2021) · International Journal of Electrical Engineering & Education, via arXiv https://arxiv.org/pdf/2103.01759
16. Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development (NREL/TP-500-38060, 2009) · National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy09osti/38060.pdf
17. Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide (DOE/GO-102007-2465, August 2007) · U.S. Department of Energy / National Renewable Energy Laboratory https://docs.nlr.gov/docs/fy07osti/42005.pdf
18. World electricity data · Ember https://ember-energy.org/countries-and-regions/world/
19. Dongfang installs world's largest single-capacity offshore wind turbine for testing · offshoreWIND.biz https://www.offshorewind.biz/2025/09/03/dongfang-installs-worlds-largest-single-capacity-offshore-wind-turbine-for-testing

Factos verificados em 2026-10-14

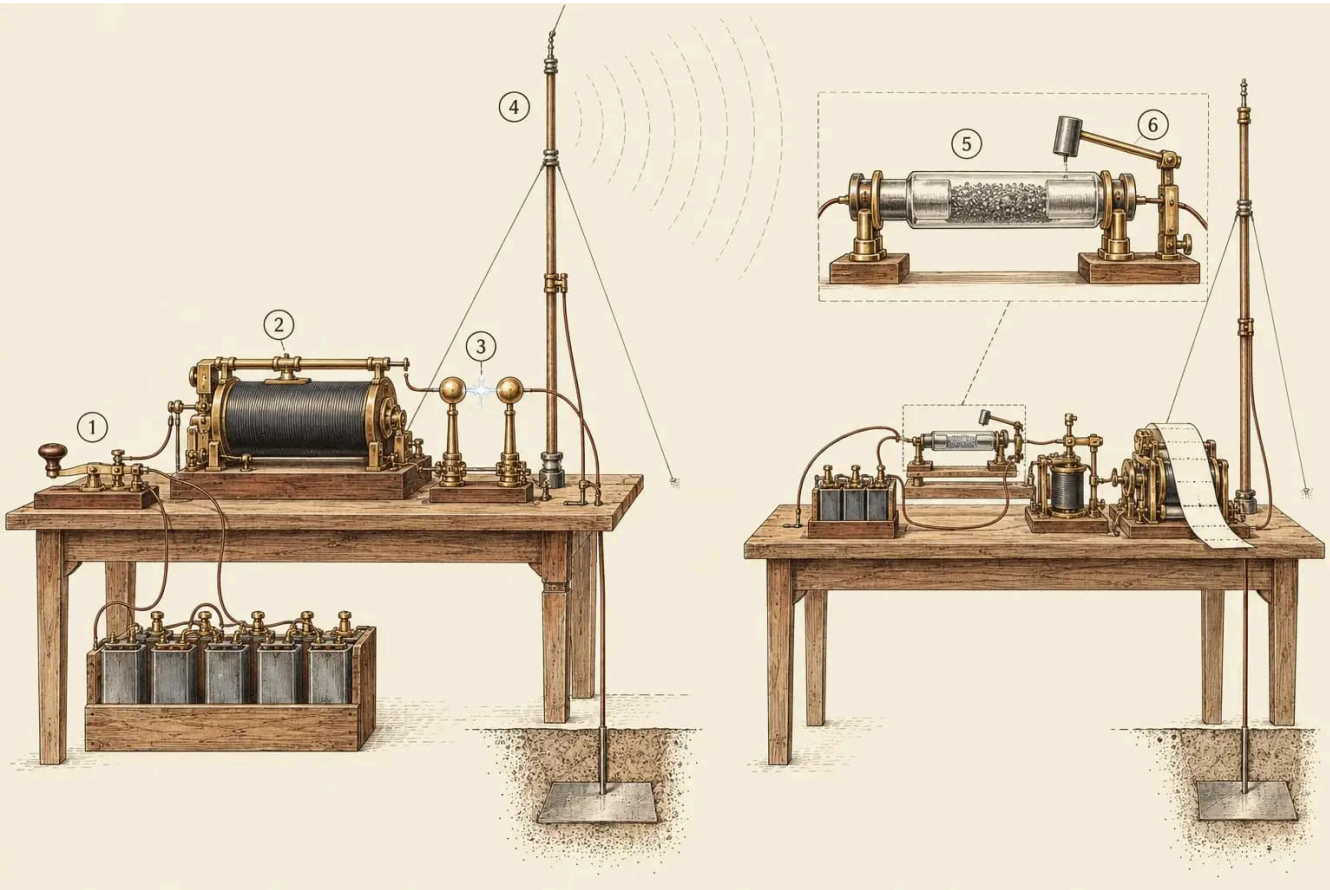
Rádio

Mensagens sem fios

c. 1895 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Telégrafo elétrico (p. 286), Gerador elétrico (p. 274)

Conduz a: Transístor (p. 361)



1 Manipulador Morse 2 Bobina de indução 3 Centelhador 4 Antena 5 Coesor 6 Martelo

A rádio envia sinais através do espaço sob a forma de ondas eletromagnéticas, produzidas por uma corrente que oscila muito depressa num fio e captadas por outro fio distante. Guglielmo Marconi transformou experiências de laboratório numa telegrafia sem fios funcional em 1895, e a radiodifusão de voz e música seguiu-se no início do século XX.

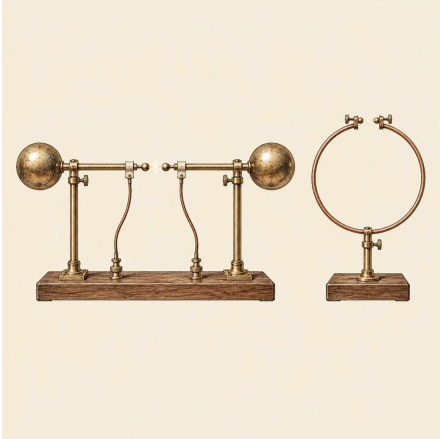
O que é

Um emissor de rádio faz oscilar muito depressa uma corrente num fio, a antena, que emite ondas eletromagnéticas à velocidade da luz. Ao encontrar outro fio, as ondas criam nele uma cópia minúscula da corrente original, que um recetor transforma em som ou em traços numa fita de papel.

A prancha mostra o primeiro sistema prático, a telegrafia de faísca de Marconi, de 1896, que só enviava os pontos e traços do código Morse. No início da década de 1920, já havia estações a emitir voz e música para recetores nas casas.

Como funciona

No emissor, uma bateria alimenta uma bobina de indução através do manipulador Morse. A bobina eleva a tensão a muitos milhares de volts e carrega duas esferas de latão separadas por um pequeno intervalo. Quando a tensão é suficiente, salta uma faísca que, enquanto dura, deixa a carga ir e vir pela antena a frequência muito alta. Cada faísca envia uma curta rajada de ondas. Um toque breve no manipulador dá um ponto no recetor; um toque longo, um traço.



Quando uma faísca saltava no oscilador de Hertz, uma faísca minúscula saltava no anel do outro lado da sala.

Marconi ergueu um fio vertical comprido num mastro e ligou o outro lado do centelhador a uma placa de metal enterrada. Com esta antena ligada à terra, o alcance passou de algumas centenas de metros para quilómetros.

No detetor de bigode de gato, um fio fino sobre um cristal de galena só deixa passar a corrente num sentido.

O recetor também tinha antena e terra, com um coesor entre elas: um pequeno tubo de vidro com limalha metálica solta entre dois tampões de prata. Normalmente a limalha conduz mal. As ondas que chegam fazem os grãos aderir uns aos outros e conduzir, e uma pilha local pode então fazer passar corrente e acionar um relé, que comanda uma campainha ou um registador Morse. Um pequeno martelo bate depois no tubo para soltar a limalha antes do sinal seguinte.

Os emissores de faísca espalhavam a energia por uma larga banda de frequências e interferiam uns com os outros. Os circuitos sintonizados, feitos de uma bobina e de um condensador, permitiram a cada estação manter a sua frequência. Os emissores seguintes produziam uma onda contínua cuja intensidade acompanhava a voz: é a modulação de amplitude, ou AM. No recetor, um detetor, primeiro um cristal e depois uma válvula, retira a onda de rádio e deixa o som.

Como construir

O rádio mais simples que funciona é o rádio de galena. Não precisa de pilha, porque toda a energia vem das ondas da estação. A bobina e o condensador abaixo sintonizam boa parte da banda AM de onda média, conforme a antena, e o aparelho funciona melhor ao alcance de um emissor potente.

Montar uma antena. Esticar 15 a 30 metros de fio de cobre, o mais alto e direito possível, entre duas árvores ou postes, com isoladores nas duas pontas, e descer um fio até ao rádio.

Fazer uma terra. Cravar uma vara de cobre ou de aço galvanizado um metro em terreno húmido e ligá-la com um fio curto e grosso. Nunca usar um tubo de gás.

Bobinar. Num tubo de cartão ou de plástico com cerca de 8 cm de diâmetro, enrolar 60 a 90 espiras juntas de fio de cobre esmaltado de 0,3 a 0,5 mm. Fazer uma derivação a cada dez espiras e raspar o esmalte onde se vai ligar.

Juntar um condensador de sintonia. Um condensador variável com um máximo de cerca de 350 a 500 picofarads, comprado ou aproveitado de um velho rádio a pilhas e ligado aos terminais da bobina, sintoniza as estações. Não abrir aparelhos antigos ligados à rede elétrica: os seus condensadores podem guardar uma carga

perigosa muito tempo depois de desligados da tomada. Sem condensador variável, ainda se consegue sintonizar de forma aproximada mudando a antena de uma derivação para outra.

Montar um detetor. Um díodo de germânio é o mais fácil. Um pedaço de galena tocado de leve por um fio fino também funciona, com paciência.

Ligar e ouvir. Ligar a terra à base da bobina e a antena a uma das derivações: menos espiras sintonizam frequências mais altas, mais espiras frequências mais baixas, e uma antena comprida costuma funcionar melhor numa derivação a meio. Ligar o detetor e o auricular em série e pôr esse par também aos terminais da bobina. Usar um auricular de cristal de alta impedância com uma resistência de cerca de 50 a 100 quilo-ohms em paralelo, ou uns auscultadores antigos de alta impedância; os auriculares modernos de baixa impedância carregam demasiado o circuito. Rodar o condensador devagar.

> **Segurança.** Uma antena exterior atrai raios: desligá-la e ligá-la à terra antes de uma trovoada se aproximar, e nunca lhe tocar durante uma. A vara de terra do rádio não protege contra raios; uma antena exterior permanente precisa de um para-raios adequado e de uma ligação à terra instalados segundo as regras locais. Manter todos os fios bem longe das linhas elétricas, cujo contacto pode matar, e não subir a telhados sem uma escada segura e outra pessoa. Não construir um emissor: a maioria dos emissores exige licença, e os emissores de faísca são proibidos em todo o lado porque interferem com outros serviços. As bobinas de indução produzem milhares de volts e dão choques dolorosos e perigosos.

História e evolução

Em 1865, James Clerk Maxwell previu que os campos elétrico e magnético podiam propagar-se juntos como ondas. Entre 1886 e 1888, em Karlsruhe, Heinrich Hertz produziu essas ondas com faíscas, detetou-as do outro lado do laboratório com um anel de fio e mostrou que se comportavam como a luz. Édouard Branly (1890) e Oliver Lodge (1894) desenvolveram o coesor, um tubo com limalha metálica que passa a conduzir quando as ondas chegam. A 7 de maio de 1895, Alexander Popov apresentou em São Petersburgo um recetor com coesor de batida automática, construído para registar trovoadas distantes.

Guglielmo Marconi, que trabalhava na Villa Griffone da família, perto de Bolonha, visou desde o início a telegrafia. No verão de 1895, com uma antena vertical ligada à terra, enviou sinais a cerca de dois quilómetros, para lá da colina dos Celestini, e um ajudante do outro lado confirmou a receção com um tiro. Em 1896 mudou-se para Inglaterra e requereu a patente. A 12 de dezembro de 1901, em Signal Hill, na Terra Nova, ele e George Kemp ouviram os três pontos da letra S enviados de Poldhu, na Cornualha, através de um fio erguido por um papagaio. Alguns historiadores acham que só ouviram ruído, mas um serviço transatlântico regular abriu em 1907.

O tríodo amplificava sinais fracos, o que melhorou a receção e ajudou a radiodifusão a espalhar-se.

A 21 de dezembro de 1906, Reginald Fessenden transmitiu voz e música pela rádio a partir de Brant Rock, no Massachusetts, perante testemunhas convidadas. Escreveu mais tarde que, na véspera de Natal, emitira um programa para navios no mar; esse relato data de 1932, e não se encontrou nenhum registo dele de 1906. A 2 de novembro de 1920, a estação KDKA da Westinghouse, em Pittsburgh, transmitiu os resultados da eleição presidencial, e na década de 1950 os transístores fizeram os rádios caber no bolso.

Números-chave

Ondas de rádio demonstradas
Heinrich Hertz, 1886 a 1888

Sinais de Marconi para lá de uma colina
Cerca de 2 km, verão de 1895

Receção transatlântica relatada por Marconi
12 de dezembro de 1901, a letra S em Morse

Voz e música pela rádio
21 de dezembro de 1906, demonstração de Fessenden em Brant Rock

Fontes

1. Milestones: Marconi's Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Marconi%27s_Early_Experiments_in_Wireless_Telegraphy,_1895
2. Milestones: Reception of Transatlantic Radio Signals, 1901 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Reception_of_Transatlantic_Radio_Signals,_1901
3. Milestones: Popov's Contribution to the Development of Wireless Communication, 1895 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Popov%27s_Contribution_to_the_Development_of_Wireless_Communication,_1895
4. Experiments and Results in Wireless Telephony (John Grant, 1907) · The American Telephone Journal, via earlyradiohistory.us https://earlyradiohistory.us/1907fes.htm
5. Results by Radio: Election Day 1920 · The Henry Ford https://www.thehenryford.org/collections/explore/articles/detail/articles/2020/10/15/results-by-radio-election-day-1920
6. Fessenden: World's First Broadcaster? · Radio World (James O'Neal) https://www.radioworld.com/news-and-business/fessenden-worlds-first-broadcaster
7. Circular 120: Construction and Operation of a Simple Homemade Radio Receiving Outfit (1922) · US Bureau of Standards, via NIST https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/circ/nbscircular120.pdf
8. Simple Inductance Formulas for Radio Coils (H. A. Wheeler, 1928) · Proceedings of the IRE https://doi.org/10.1109/JRPROC.1928.221309
9. Amateur Radio After World War One (1919-1925): 360 and 485 metres set aside for broadcasting, 1921 · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/sec015.htm
10. Government Agricultural Broadcasting: 485 metres for crop reports and weather forecasts · Thomas H. White, United States Early Radio History https://earlyradiohistory.us/agric.htm

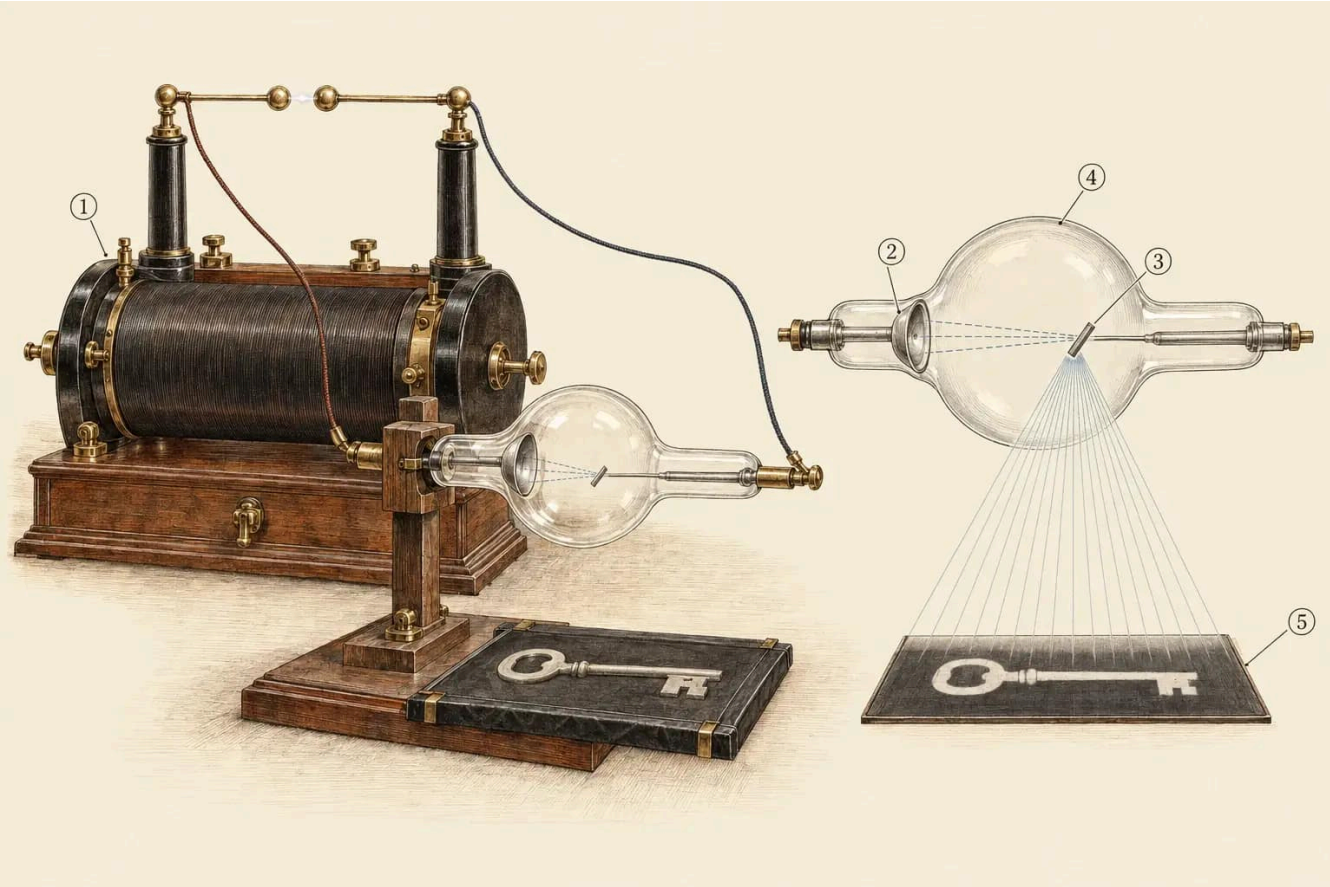
Factos verificados em 2026-10-11

Radiografia

Ver através do corpo

1895 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Gerador elétrico (p. 274), Fotografia (p. 261)



1 Bobina de indução 2 Cátodo côncavo 3 Anticátodo de platina inclinado 4 Ampola de vidro 5 Placa fotográfica

A radiografia usa raios invisíveis e penetrantes que atravessam o corpo e atingem uma placa ou um detetor, de modo que os ossos e os tecidos densos projetam a sua sombra. Wilhelm Röntgen descobriu esses raios em Würzburg a 8 de novembro de 1895, e no início de 1896, poucas semanas depois do anúncio, médicos da Europa e da América usavam-nos para localizar fraturas e balas.

O que é

Os raios X são ondas eletromagnéticas como a luz, mas com um comprimento de onda muito mais curto, de cerca de 0,01 a 10 nanómetros contra 400 a 700 na luz visível, o que lhes permite atravessar materiais que travam a luz. A matéria densa absorve mais do que a leve, por isso um objeto colocado entre uma fonte de raios X e uma placa sensível deixa nela uma imagem em sombra do seu interior: o osso, que contém cálcio, destaca-se nitidamente da carne à volta.

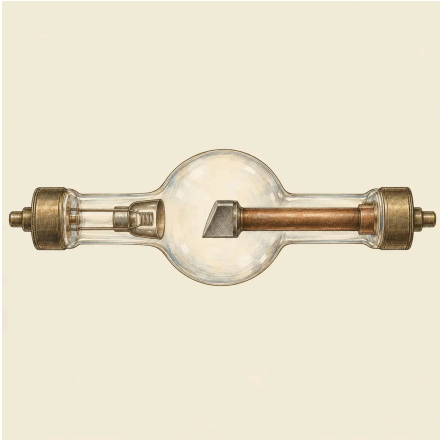
O aparelho da prancha é do tipo usado em 1896 e nos anos seguintes. Uma bobina de indução transforma a baixa tensão de uma pilha em dezenas de milhares de volts. Dois fios levam essa tensão a um tubo «focus», uma ampola de vidro quase vazia de ar, com um cátodo côncavo de alumínio numa ponta e, ao centro, uma pequena placa de

platina, o anticátodo, inclinada a 45 graus. Debaixo do tubo assenta uma placa fotográfica embrulhada em papel preto, com o objeto a radiografar por cima.

Como funciona

O tubo ainda tem um vestígio de gás. A alta tensão ioniza-o, e os iões positivos, ao baterem no cátodo, arrancam-lhe eletrões que a tensão lança depois através do tubo. Estes raios catódicos, como então se chamavam, são correntes invisíveis de eletrões, e a quantidade de gás que resta no tubo determina o seu comportamento. O cátodo côncavo concentra-os numa pequena mancha do anticátodo de platina. Quando os eletrões rápidos são travados no metal, uma pequena parte da sua energia sai sob a forma de raios X; quase todo o resto se transforma em calor. Os raios X saem do alvo em muitas direções; como está inclinado, um feixe útil sai de lado, através do vidro, em direção à placa fotográfica, enquanto o resto se espalha pela sala se não houver blindagem.

Os raios saem em linha reta dessa pequena mancha, e é por isso que ela importa: quanto mais pequena, mais nítidas as sombras. Onde os raios passam facilmente, pelo ar ou pela carne, escurecem a emulsão fotográfica; onde o osso ou o metal os absorvem, a placa fica mais clara. Impressa ou vista diretamente, a placa mostra o esqueleto de uma mão, uma moeda numa bolsa ou uma bala num membro.



O tubo de Coolidge de 1913: um filamento de tungsténio aquecido fornece os eletrões, pelo que a emissão pode ser regulada com precisão.

Os primeiros tubos de gás eram caprichosos: o seu comportamento mudava à medida que o gás restante se esgotava. Em 1913, William Coolidge, da General Electric, fez um tubo de alto vácuo cujo cátodo era um filamento de tungsténio aquecido. A corrente, e com ela a quantidade de raios X, passou a regular-se pela temperatura do filamento, e o poder de penetração pela tensão, o que tornou as doses repetíveis. Os tubos modernos ainda seguem esse princípio.

Como construir

Um aparelho de raios X não se pode construir em segurança em casa, e na maioria dos países usá-lo exige licença. Os raios X danificam as células vivas sem que se sinta nada; os primeiros operadores aprenderam-no com queimaduras, amputações e cancros mortais. Esta secção descreve como as primeiras máquinas eram feitas nos laboratórios e propõe depois duas experiências simples que mostram os mesmos princípios.

Como se fazia em 1896. Os fabricantes de instrumentos enrolavam quilómetros de fio fino forrado a seda sobre um núcleo de ferro, alimentavam as bobinas com pilhas através de um interruptor vibratório e ligavam-nas a tubos feitos por sopradores de vidro. Os tubos eram esvaziados durante horas com bombas de mercúrio, selados e afinados até darem raios estáveis. Debaixo do tubo punha-se um chassis embrulhado em papel preto; uma mão exigia de início vários minutos de exposição, por vezes muito mais, e menos à medida que os tubos melhoravam.

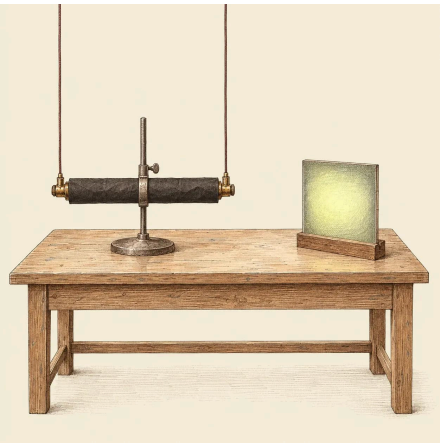
Ver sombras com luz. Numa sala às escuras, fixe uma lanterna forte a cerca de 2 m de uma parede e segure um lápis a meio caminho. Tape a lanterna com um cartão com um furo de 5 mm e depois retire-o para que toda a lente ilumine: a fonte pequena dá uma sombra nítida e a grande contornos desfocados, tal como uma mancha focal pequena num tubo de raios X. Depois encoste a lanterna à ponta de um dedo: a ponta do dedo brilha a vermelho, porque a luz vermelha atravessa um centímetro de carne.

Ver a fluorescência. Röntgen reparou nos raios porque um ecrã coberto de platinocianeto de bário se iluminava. Com um adulto responsável e seguindo as instruções de segurança da lâmpada, ilumine às escuras um copo de

água tónica com uma lanterna ultravioleta de baixa potência, do tipo «UV-A» de 365 nm: o quinino que contém absorve essa luz invisível e brilha a azul. A tinta dos marcadores fluorescentes e alguns detergentes fazem o mesmo.

> **Segurança.** Nunca ligue válvulas de vácuo antigas nem tubos de raios catódicos a alta tensão: quando os eletrões batem no vidro ou no metal do interior, podem emitir raios X. As bobinas de indução e outras fontes de alta tensão podem dar choques perigosos ou mortais. A luz ultravioleta faz mal aos olhos e à pele: nunca olhe para dentro da lanterna, mantenha o feixe longe dos olhos e da pele, use óculos que bloqueiem o UV e escolha uma lanterna de baixa potência vendida apenas para UV-A. As radiografias médicas são feitas por pessoal com formação, com a dose mais baixa que o exame permita.

História e evolução



A descoberta de Röntgen: um tubo embrulhado em cartão preto e, ao lado, um ecrã fluorescente que brilha mesmo assim.

Na noite de 8 de novembro de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, professor de física em Würzburg, estudava uma descarga elétrica num tubo embrulhado em cartão preto. Um ecrã de papel coberto de platinocianeto de bário, pousado a alguma distância, iluminava-se sempre que o tubo era ligado, embora nenhuma luz pudesse sair do cartão. Nas semanas seguintes, a trabalhar sozinho, mostrou que os raios desconhecidos atravessavam papel, madeira e carne, mas eram absorvidos com muito mais força pelo osso e por metais como o chumbo. A 22 de dezembro fotografou a mão da mulher, Anna Bertha, onde se veem os ossos e o anel. O seu artigo «Sobre uma nova espécie de raios» saiu no fim do mês.

Desde o início de 1896, a chapa mostrava ao cirurgião onde estava uma agulha ou uma bala antes de operar.

A notícia espalhou-se a uma velocidade extraordinária, e num ano saíram cerca de mil publicações sobre raios X. No início de 1896, Herbert Jackson, em Londres, e outros construíram tubos «focus» com cátodo côncavo e alvo metálico inclinado, que davam imagens muito mais nítidas. Os cirurgiões usaram-nos para localizar balas e agulhas; os hospitais montaram salas de raios X. Röntgen recebeu em 1901 o primeiro Prémio Nobel da Física.

O perigo não foi logo compreendido. Queimaduras e queda de cabelo foram relatadas logo em 1896, e muitos dos primeiros operadores sofreram lesões desfigurantes; Clarence Dally, assistente de Thomas Edison, morreu em 1904 depois de anos de exposição. Seguiram-se ecrãs de chumbo, limites de dose e formação. Em 1912, a equipa de Max von Laue mostrou que os raios X são ondas ao difratá-los em cristais, o que abriu o estudo das estruturas cristalinas. A tomografia computorizada, que reconstrói cortes a partir de muitas medições com raios X, valeu em 1979 o Prémio Nobel a Godfrey Hounsfield e Allan Cormack.

Números-chave

Descoberta
8 de novembro de 1895, Universidade de Würzburg

Publicação
«Über eine neue Art von Strahlen», fim de dezembro de 1895; cerca de 1000 publicações sobre raios X num ano

Primeiro Prémio Nobel da Física
Röntgen, 1901

Primeira radiografia de uma mão
A de Anna Bertha Röntgen, 22 de dezembro de 1895

Tubo de cátodo quente
William Coolidge, 1913

Fontes

1. Wilhelm Conrad Röntgen: biographical · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/biographical/
2. Röntgen discovers X-rays · HistoryofInformation.com https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=550
3. Jackson X-ray tube (ca. 1896) · ORAU Health Physics Historical Instrumentation Museum https://www.orau.org/health-physics-museum/collection/x-ray-discharge/after-roentgen-tubes/jackson-x-ray-tube.html
4. Original Coolidge x-ray tube · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co32668/original-coolidge-x-ray-tube
5. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979 · Nobel Prize Outreach https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/summary/
6. History of radiation protection · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_radiation_protection
7. John Francis Hall-Edwards: a radiology pioneer · Hektoen International https://hekint.org/2020/06/23/john-francis-hall-edwards-a-radiology-pioneer/
8. Blue plaque: Major Dr John Francis Hall-Edwards · Birmingham Civic Society https://birminghamcivicsociety.org.uk/blue-plaque-major-dr-john-francis-hall-edwards/
9. X-Ray Mass Attenuation Coefficients (NIST Standard Reference Database 126) · National Institute of Standards and Technology https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/
10. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students, chapter 5 · International Atomic Energy Agency https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564webNew-74666420.pdf
11. Characteristics of a first-generation x-ray system · Radiology (Radiological Society of North America) https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.11101899
12. X-ray (the Duane–Hunt law) · Encyclopaedia Britannica https://www.britannica.com/science/X-ray

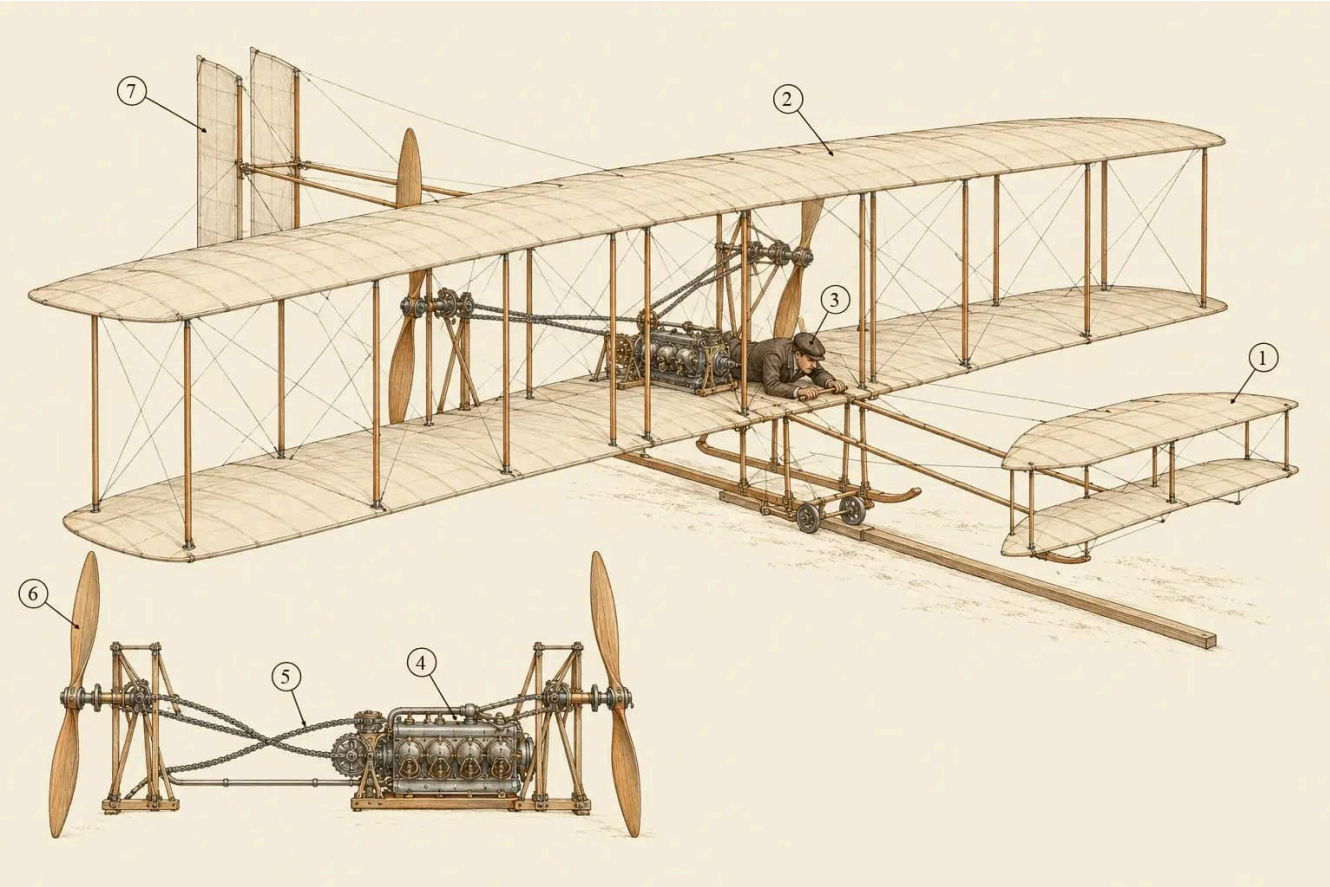
Factos verificados em 2026-10-12

Avião

Sustentação, impulso e controlo

1903 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Motor de combustão interna (p. 313), Alumínio (p. 335)



1 Leme de profundidade dianteiro 2 Asa superior 3 Berço do piloto 4 Motor 5 Corrente de transmissão 6 Hélice 7 Lemes de direção gémeos

Um avião é uma máquina motorizada mais pesada do que o ar que voa com asas fixas, com um motor que a impele para a frente e superfícies móveis para a dirigir. Wilbur e Orville Wright realizaram os primeiros voos motorizados, controlados e sustentados em Kitty Hawk, a 17 de dezembro de 1903.

O que é

Um avião voa porque o ar que corre à volta das asas o sustenta. Ao contrário de um balão, é mais pesado do que o ar que atravessa, por isso tem de se manter em movimento para continuar no ar. Precisa de três coisas ao mesmo tempo: asas que produzam sustentação, um motor com hélice (ou um reator) que empurre a máquina contra a resistência do ar, e comandos que permitam ao piloto mantê-la equilibrada e levá-la para onde quer.

A máquina desta prancha é o Flyer dos irmãos Wright, de 1903: um biplano de espruce e freixo revestido de musselina crua. O piloto ia deitado de barriga para baixo sobre a asa inferior. Ao seu lado, um pequeno motor a gasolina acionava, por correntes semelhantes às de uma bicicleta, duas hélices de madeira colocadas atrás das

asas. O leme de profundidade ficava à frente e um par de lemes de direção atrás. Não tinha rodas e descolava de um carril de madeira assente na areia.

Como funciona

Uma asa é curva por cima e ligeiramente inclinada em relação ao ar que chega. Desvia o ar para baixo, e o ar empurra a asa para cima. A pressão desce por cima da asa e sobe por baixo; essa diferença, distribuída por toda a superfície, é a sustentação. Para uma dada asa e um dado ângulo, a sustentação cresce com o quadrado da velocidade, e por isso um avião precisa de uma velocidade mínima para voar. Inclinar mais a asa só aumenta a sustentação até certo ponto: para lá dele, o escoamento descola do extradorso e a asa entra em perda.

O motor tem de vencer a resistência do ar. Os Wright viam as suas hélices como asas rotativas e desenharam-nas com dados do seu próprio túnel de vento. As duas hélices rodavam em sentidos opostos para que os seus efeitos de binário se anulassem.

O ar que contorna uma asa curva é desviado para baixo, e em troca a asa é empurrada para cima.

O controlo foi o grande contributo dos Wright. Um avião pode rodar em torno de três eixos. A arfagem (nariz para cima ou para baixo) era regulada pelo leme de profundidade dianteiro, manobrado por uma alavanca na mão esquerda do piloto. O rolamento (inclinar as asas) vinha da torção das asas: ao deslocar as ancas no berço, o piloto puxava cabos que torciam as pontas das asas em sentidos opostos, e uma asa passava a sustentar mais do que a outra. O mesmo berço movia os lemes de direção, para evitar que o nariz fugisse para o lado errado nas curvas. Mais tarde os ailerons, abas articuladas nas asas, substituíram a torção, mas o princípio dos três eixos manteve-se.

Como construir

Os primeiros aviões saíram de pequenas oficinas que dominavam a carpintaria e o fabrico de bicicletas. O que se segue explica as decisões a tomar e a forma como os pioneiros trabalhavam. Não é um plano, e ninguém deve voar numa aeronave de construção amadora sem formação, inspeção e as autorizações exigidas no seu país.

Testar antes de construir. Os Wright voaram planadores em 1900, 1901 e 1902 e construíram em 1901 um pequeno túnel de vento para medir a sustentação e a resistência de modelos de asas. As suas próprias tabelas substituíram dados publicados anteriormente que tinham verificado estar errados.

Uma estrutura de madeira leve e de fio direito. Longarinas e montantes eram de espruce, as nervuras curvas de freixo. O conjunto era uma caixa contraventada: os montantes mantinham as duas asas afastadas e entre elas cruzavam-se cabos de aço. Os vãos centrais eram rigidamente contraventados, enquanto as partes exteriores das asas podiam torcer-se um pouco para a torção de comando.

Entelar as asas. A musselina era cortada e esticada em viés sobre as nervuras, com os fios na diagonal, o que reforçava o revestimento.

Arranjar um motor leve. Os Wright não encontraram nenhum fabricante disposto a fornecer-lhes um motor suficientemente leve e potente, por isso o seu mecânico Charlie Taylor construiu em cerca de seis semanas um motor de quatro cilindros arrefecido a água, com o cárter fundido em alumínio para poupar peso.

Equilibrá-lo. No sentido longitudinal, o centro de gravidade tem de ficar no sítio certo em relação à sustentação; caso contrário, a máquina empina ou mergulha. Lateralmente, os pesos também se têm de compensar: como o

motor ficava ao lado do piloto, os Wright alongaram um pouco a asa direita.

> **Segurança.** Uma hélice em rotação é invisível e pode matar: nunca se coloque no seu raio de ação nem arranque um motor à mão sem formação. A gasolina e os seus vapores inflamam-se facilmente. Estruturas de madeira e tela cedem sem aviso se uma junta ou um cabo estiverem danificados. Voar exige formação, uma aeronave em bom estado e inspecionada e condições meteorológicas adequadas.

História e evolução

Lilienthal dirigia os seus planadores deslocando o corpo sob as asas.

A abordagem moderna ao voo começou com o inglês George Cayley, que por volta de 1799 separou os três problemas da sustentação, da propulsão e do controlo, e mais tarde fez voar planadores. Na Alemanha, na década de 1890, Otto Lilienthal fez cerca de dois mil voos planados a partir de colinas e publicou as suas medições. Morreu em 1896, na sequência de uma queda.

Wilbur e Orville Wright tinham uma loja de bicicletas em Dayton, no Ohio. Estudaram a investigação aeronáutica anterior, incluindo a de Lilienthal, e depois testaram as suas ideias com papagaios e planadores em Kitty Hawk, na Carolina do Norte, escolhida pelos ventos regulares e pela areia macia.

A 17 de dezembro de 1903, Orville voou no Flyer durante 12 segundos e percorreu cerca de 37 metros (120 pés). Os irmãos fizeram mais três voos nesse dia; o último, com Wilbur aos comandos, durou 59 segundos e cobriu cerca de 260 metros. Depois, uma rajada virou a máquina, que nunca mais voou. Está na Smithsonian, em Washington, desde 1948.

No seu túnel de vento de 1901, os Wright mediram a sustentação e a resistência de muitos pequenos modelos de asas.

Outros seguiram-se depressa. Alberto Santos-Dumont voou em Paris em 1906, e Louis Blériot atravessou o canal da Mancha em 1909. A Primeira Guerra Mundial transformou a aviação numa indústria. Na década de 1930, os monoplanos metálicos substituíram os biplanos de madeira, e no fim da década surgiram os motores a jato. Hoje os aviões de passageiros transportam várias centenas de pessoas através dos oceanos, e os seus comandos continuam a atuar em torno dos mesmos três eixos sobre os quais os Wright conseguiram pela primeira vez um controlo eficaz.

Números-chave

Primeiro voo
17 de dezembro de 1903, 12 segundos, cerca de 37 m

Voo mais longo do dia
59 segundos, cerca de 260 m (Wilbur Wright)

Envergadura do Flyer de 1903
12,3 m

Motor
4 cilindros, cerca de 12 cv, cárter de alumínio

Peso
274 kg vazio, 341 kg com o piloto

Fontes

1. 1903 Wright Flyer · Smithsonian National Air and Space Museum https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000
2. The Wright Flyer · US National Park Service https://www.nps.gov/articles/wrightflyer.htm
3. 1903 Engine · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Engine.htm
4. Otto Lilienthal · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal
5. 1903 Wright Flyer Specifications · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Help_with_Homework/Wright_Plans/Wright_Plans_images/1903_Wright_Flyer_Specifications_Isometric_11x17.pdf
6. 1903 Wright Propellers · Wright Brothers Aeroplane Company https://wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Props.htm
7. Wright 1903 Aircraft Engine Parts · NASA Glenn Research Center https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/engparts.html

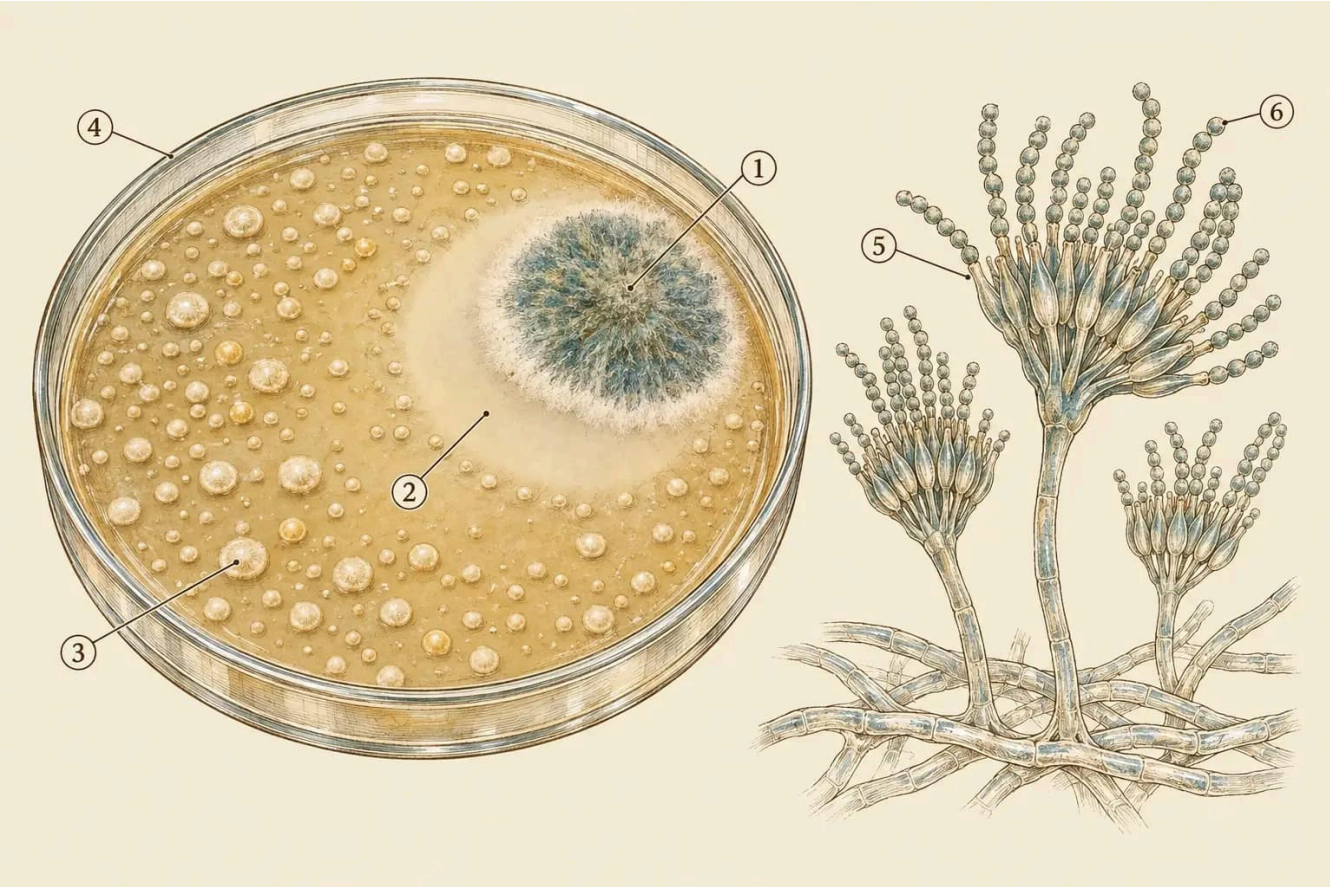
Factos verificados em 2026-10-11

Penicilina

Um antibiótico produzido por um bolor

1928 · Era elétrica · Era elétrica

Requer: Vidro (p. 132), Vacinação (p. 235), Higiene e antissepsia (p. 299)



1 Colónia de Penicillium 2 Halo claro à volta do bolor 3 Colónias bacterianas 4 Placa de Petri de vidro
5 Cabeça esporífera em forma de pincel 6 Cadeia de esporos

A penicilina é uma substância produzida por bolores do género Penicillium que mata muitos tipos de bactérias ao impedi-las de construir a sua parede celular. Alexander Fleming reparou nela em 1928, e uma equipa de Oxford fez dela, durante a Segunda Guerra Mundial, o primeiro antibiótico derivado de um bolor a ser amplamente utilizado na prática clínica.

O que é

A penicilina é um antibiótico, isto é, um medicamento que mata as bactérias ou trava o seu crescimento. Ao contrário das sulfamidas sintéticas dos anos 1930, nascidas da investigação sobre corantes, é produzida por um ser vivo. Produzem-na certas estirpes de *Penicillium*, um género que inclui os bolores azul-esverdeados do pão velho e da fruta. Depois de purificada, a penicilina tornou-se o primeiro antibiótico derivado de um bolor que os médicos puderam usar em larga escala, e mudou o prognóstico de infeções muitas vezes mortais, como a septicemia, a pneumonia ou as feridas infetadas. O bolor dos alimentos, pelo contrário, não é um medicamento e pode ser prejudicial.

À esquerda, a prancha mostra a célebre observação de Fleming: uma placa de vidro com colónias bacterianas, onde um esporo de bolor caiu por acaso e deu origem a uma colónia, rodeada por um anel claro onde as bactérias morreram. À direita, o próprio bolor ao microscópio. Os seus esporos crescem em cadeias sobre pequenas cabeças em forma de pincel, que deram nome ao género, do latim *penicillus*, pequeno pincel.

Como funciona

A maioria das bactérias são células isoladas envolvidas por uma parede resistente que lhes mantém a forma contra a pressão da água no seu interior. Essa parede é uma malha de cadeias de açúcares ligadas por curtas pontes peptídicas. À medida que a célula cresce e se divide, corta e reconstrói essa malha sem parar.

A penicilina bloqueia as enzimas bacterianas que formam essas pontes. A célula continua a crescer, mas a nova parede é fraca; a água entra e a célula rebenta. As células humanas e animais não têm uma parede deste tipo, e é por isso que a penicilina pode matar bactérias poupando em grande parte as células do doente. No centro da molécula há um anel tenso de quatro átomos, o anel beta-lactâmico, que reage com essas enzimas e as põe fora de ação.

A penicilina atua sobretudo contra bactérias de parede espessa e exposta, como os estreptococos e os pneumococos. A bactéria da sífilis tem uma parede fina presa entre duas membranas, mas também é muito sensível à penicilina. A penicilina não tem qualquer efeito sobre os vírus, que não têm parede celular nenhuma.

As bactérias podem tornar-se resistentes. Algumas produzem uma enzima, a penicilinase, que corta o anel beta-lactâmico antes de ele atuar. Cada uso de um antibiótico favorece as bactérias que lhe sobrevivem, e a resistência espalha-se onde os antibióticos são usados sem cuidado. Fleming já tinha alertado para esse risco na sua conferência Nobel de 1945. Algumas pessoas são, além disso, alérgicas à penicilina, por vezes de forma grave. Os antibióticos são medicamentos que só devem ser usados com receita médica.

Como se fabrica

Entre 1940 e 1945, as formas de cultivar o bolor, de extrair o medicamento do caldo e de o medir mudaram várias vezes.

Cultura à superfície em Oxford. A equipa de Florey cultivava a estirpe de Fleming, *Penicillium notatum*, como um feltro a flutuar sobre uma camada pouco funda de caldo nutritivo. Norman Heatley começou por usar tudo o que tivesse um fundo largo e plano, incluindo arrastadeiras, latas de bolachas e formas de tarte, e depois desenhou um recipiente retangular de cerâmica que se podia empilhar deitado durante a incubação. Uma olaria do Staffordshire, a James Macintyre & Co., fabricou várias centenas, e os primeiros foram semeados no Natal de 1940. Uma pequena equipa de jovens mulheres, a quem chamavam as «penicillin girls», semeava os esporos, retirava o caldo depois de o bolor em crescimento ter libertado nele a penicilina e mantinha os recipientes a funcionar dia e noite.

Norman Heatley concebeu recipientes de cerâmica como estes para cultivar o bolor em quantidade em Oxford.

Extração. O caldo continha apenas vestígios de penicilina, e o medicamento degradava-se em poucas horas com o calor ou em meio ácido. Heatley aproveitou o facto de a penicilina ser um ácido. Acidificada e mantida a frio, passa do caldo para um solvente que não se mistura com a água, primeiro o éter e depois o acetato de amilo, menos inflamável. Agitada com água ligeiramente alcalina, volta

a passar para a água sob a forma de sal, num volume muito menor e livre de grande parte das impurezas. Com tubos de vidro, frascos e bombas, Heatley construiu um aparelho que fazia esta operação em contínuo. A solução concentrada era depois liofilizada, e obtinha-se um pó castanho que se conservava durante meses, embora os primeiros lotes fossem sobretudo impurezas.

O ensaio de cilindros de Heatley: quanto mais forte é a amostra num cilindro, mais largo é o anel claro à sua volta.

Doseamento. Enquanto não se conhecia a sua estrutura, a penicilina só podia ser medida pelo efeito que tinha nas bactérias. No ensaio de cilindros em placa criado por Heatley, pequenos cilindros abertos assentam numa placa de ágar semeada com estafilococos, e cada um recebe uma amostra. A penicilina difunde-se no ágar e, depois da incubação, a largura do anel claro à volta de cada cilindro, comparada com a de um padrão, indica a concentração. A equipa de Oxford definiu assim a sua própria unidade e enviou amostras a outros laboratórios. Em 1944 e 1945, cientistas britânicos e americanos acordaram uma unidade internacional, igual a 0,6 microgramas de benzilpenicilina sódica pura e próxima da unidade de Oxford, e prepararam amostras-padrão.

Tanques profundos nos Estados Unidos. No Northern Regional Research Laboratory, em Peoria, Andrew Moyer, em colaboração com Heatley, multiplicou os rendimentos por cerca de dez até ao final de 1941, juntando ao caldo água de maceração do milho, um subproduto do fabrico de amido. O laboratório testou bolores enviados de todo o mundo, e uma estirpe de *Penicillium chrysogenum* (hoje classificada como *P. rubens*), tirada de um melão cantalupo bolorento comprado em Peoria, revelou-se a melhor. As estirpes obtidas a partir dela, incluindo mutantes produzidos com raios X e luz ultravioleta, deram resultados ainda melhores. A mudança maior foi cultivar o bolor em toda a massa do líquido, e já não à superfície, em tanques fechados de aço, agitados e alimentados com ar estéril. A Pfizer já usava este método para produzir ácido glucónico e, a 1 de março de 1944 (segundo um relato, em 1943), abriu em Brooklyn, numa antiga fábrica de gelo, a primeira grande fábrica de penicilina, com catorze tanques de 7500 galões americanos (cerca de 28 000 litros) cada um. Um único micróbio intruso podia estragar um tanque inteiro, por isso o caldo e os tanques eram esterilizados antes de se introduzir o bolor, e o ar e as tubagens mantinham outros organismos afastados enquanto ele crescia.

A fermentação em tanques profundos transformou a penicilina num produto industrial nos Estados Unidos.

Penicilinas semissintéticas. A fermentação dá sobretudo benzilpenicilina, ou penicilina G, em especial quando se junta ao caldo ácido fenilacético, que o bolor incorpora na molécula. Em 1957, químicos dos Beecham Research Laboratories, no Surrey, isolaram o núcleo nu da molécula, o ácido 6-aminopenicilânico, e publicaram o trabalho em 1959. Ligando novas cadeias laterais a esse núcleo, os químicos criaram penicilinas que sobrevivem ao ácido do estômago, que resistem à enzima bacteriana penicilinase ou que atuam sobre mais tipos de bactérias, como a cloxacilina e a amoxicilina. Hoje, o núcleo é geralmente separado da penicilina fermentada por uma enzima, e as fábricas testam a identidade, a pureza e a potência de cada lote, e a esterilidade das formas injetáveis, antes de o libertarem.

> **Segurança.** Esta secção descreve a forma como laboratórios e fábricas produziam o medicamento. A penicilina não pode ser fabricada em casa com segurança: o bolor do pão ou da fruta contém pouca ou nenhuma penicilina e pode pertencer a espécies que produzem toxinas, e uma preparação impura pode causar uma infeção grave ou um choque. A penicilina também pode provocar reações alérgicas graves, e só se usa com receita médica.

História e evolução

Havia séculos que se notava que certos bolores pareciam ajudar a sarar feridas e, na década de 1890, vários investigadores relataram que os bolores podiam travar as bactérias. Nenhuma dessas observações conduziu a um tratamento.

Alexander Fleming, bacteriologista no Hospital de St Mary, em Londres, foi de férias no verão de 1928. Quando voltou, no início de setembro, encontrou uma placa de estafilococos contaminada por um bolor e reparou que as colónias à sua volta tinham desvanecido. Cultivou o bolor, mostrou que o seu caldo matava muitos tipos de bactérias, chamou penicilina à substância ativa e publicou os resultados em 1929. Mas a penicilina era instável e difícil de extrair, e Fleming não conseguiu obter uma quantidade suficiente em forma pura para tratar doentes.

Dez anos depois, em Oxford, Howard Florey e Ernst Chain retomaram o problema. Norman Heatley descobriu como extrair e concentrar a penicilina, e a equipa cultivou o bolor em centenas de recipientes. A 25 de maio de 1940, infetaram oito ratinhos com estreptococos e trataram quatro. Na manhã seguinte, os quatro ratinhos não tratados estavam mortos e os tratados continuavam vivos. Em fevereiro de 1941, um polícia, Albert Alexander, foi um dos primeiros doentes. Começou por melhorar, mas a reserva acabou e ele morreu.

A Grã-Bretanha em guerra não conseguia produzir penicilina em grande escala, por isso, em 1941, Florey e Heatley foram para os Estados Unidos, onde um laboratório público em Peoria, no Illinois, e várias empresas farmacêuticas retomaram o trabalho. Em março de 1942, a reserva americana chegava para tratar um único doente. Em 1944, as fábricas produziam o suficiente para os exércitos aliados e, a partir de 15 de março de 1945, a penicilina chegou às farmácias americanas pelos canais comerciais normais.

Fleming, Florey e Chain partilharam o Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1945. No mesmo ano, Dorothy Hodgkin determinou a estrutura da penicilina por cristalografia de raios X. Entretanto, a procura de outros antibióticos tinha conduzido à estreptomicina, descoberta em 1943; seguiram-se as tetraciclinas e muitos outros, e mais tarde os químicos criaram novas penicilinas modificando a molécula.

Números-chave

Observação de Fleming
Setembro de 1928, Hospital de St Mary, Londres

Primeira publicação
Junho de 1929, British Journal of Experimental Pathology

Experiência com ratinhos em Oxford
25 de maio de 1940

Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina
1945, Fleming, Florey e Chain

Primeira grande fábrica com tanques profundos
Pfizer, Brooklyn, 1 de março de 1944, catorze tanques de 7500 galões americanos (cerca de 28 000 litros)

Fontes

1. Alexander Fleming · Science History Institute https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/alexander-fleming/
2. Howard Walter Florey · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/people/cp38732/howard-walter-florey
3. The real story behind the world's first antibiotic · PBS NewsHour https://www.pbs.org/newshour/health/the-real-story-behind-the-worlds-first-antibiotic
4. History of penicillin · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_penicillin
5. “It looks like a miracle”: penicillin production in Oxford · History of Science Museum, University of Oxford https://www.mhs.ox.ac.uk/backfromthedead/exhibition/production/
6. Pfizer's penicillin pioneers: Jasper Kane and John McKeen · The Chemical Engineer (IChemE) https://www.thechemicalengineer.com/features/cewctw-pfizers-penicillin-pioneers-jasper-kane-and-john-mckeen/
7. How a moldy cantaloupe took Fleming's penicillin from discovery to mass production · The Scientist https://the-scientist.com/how-a-moldy-cantaloupe-took-fleming-s-penicillin-from-discovery-to-mass-production-72304
8. Standardizing the 'magic bullet' · Inventing Europe https://www.inventingeurope.eu/story/standardizing-the-magic-bullet
9. The Discovery of Penicillin · Sir William Dunn School of Pathology, University of Oxford https://www.path.ox.ac.uk/centenary/the-discovery-of-penicillin/
10. Biochromatograms showing the first ever acylation of 6-APA · Science Museum Group https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8997116/biochromatograms-showing-the-first-ever-acylation-of-6-apa
11. Penicillin culture vessel, 1940–41 (National Museum of American History, M-06669) · Cooper Hewitt, Smithsonian Design Museum https://collection.cooperhewitt.org/objects/35457197/
12. Further observations on penicillin (The Lancet, 16 August 1941) · University of Oxford, NDORMS https://www.ndorms.ox.ac.uk/files/news/19410816_florey_furtherobservationsonpenicillin_lancet.pdf
13. Alexander Fleming, On the antibacterial action of cultures of a penicillium (1929), reprinted 2001 · Bulletin of the World Health Organization https://scielosp.org/article/bwho/2001.v79n8/780-790
14. Making penicillin in milk bottles: a tale of wartime antibiotic manufacture · The Pharmaceutical Journal https://pharmaceutical-journal.com/article/opinion/making-penicillin-in-milk-bottles-a-tale-of-wartime-antibiotic-manufacture

Factos verificados em 2026-10-12

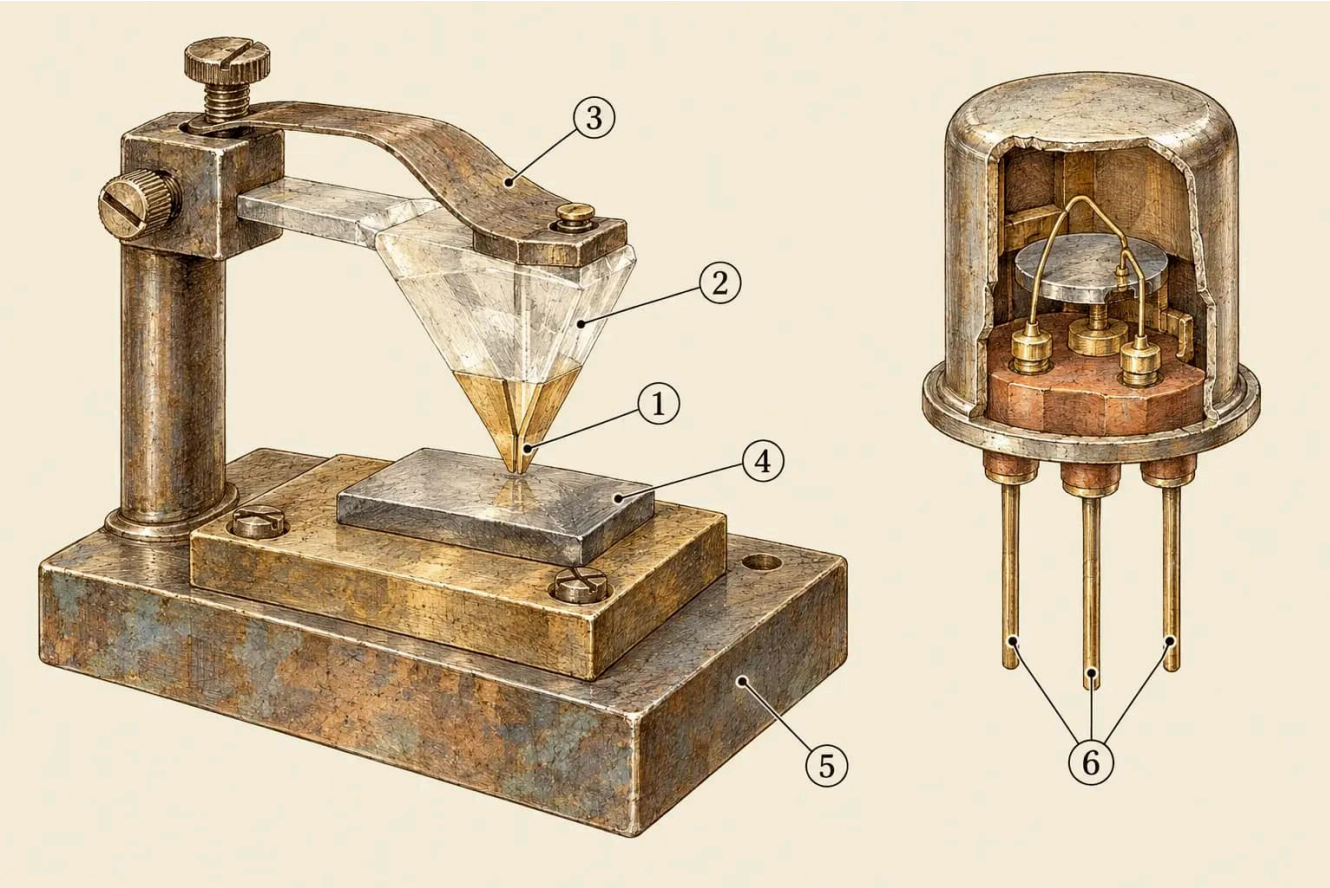
Transístor

Um interruptor sem peças móveis

1947 · Época moderna · Era elétrica

Requer: Rádio (p. 344)

Conduz a: Computador (p. 365), Célula solar (p. 370)



1 Contactos de folha de ouro 2 Cunha de plástico 3 Mola 4 Placa de germânio 5 Base metálica
6 Terminais de um transístor de junção

Um transístor é um pequeno pedaço de semicondutor em que uma corrente ou tensão fraca comanda uma corrente muito mais forte, o que lhe permite amplificar um sinal ou servir de interruptor. John Bardeen e Walter Brattain construíram o primeiro nos Bell Labs em dezembro de 1947, e hoje um chip contém milhares de milhões deles.

O que é

Um transístor é uma válvula para a corrente elétrica sem peças móveis. Uma pequena corrente ou tensão aplicada a um terminal comanda uma corrente muito maior entre os outros dois. Polarizado com uma corrente ou tensão contínua adequada, reproduz um sinal fraco com maior amplitude: isso é amplificar, o papel que desempenha num rádio ou num aparelho auditivo. Comutado entre a condução total e o bloqueio, funciona como interruptor, e um computador é feito de milhares de milhões desses interruptores.

À esquerda, a prancha mostra o primeiro transístor, o dispositivo de contacto pontual que Bardeen e Brattain construíram em 1947: uma placa de germânio sobre uma base metálica, contra a qual uma mola aperta uma cunha de plástico. Uma tira de folha de ouro passa pela ponta da cunha e é cortada com uma lâmina, de modo que dois contactos de ouro tocam o germânio a uma fração de milímetro um do outro. À direita, um transístor de junção dos anos 1950 na sua pequena cápsula metálica, com três terminais de fio.

Como funciona

Os transístores são feitos de semicondutores como o germânio ou o silício. Um cristal puro destes elementos conduz mal. Um vestígio ínfimo de outro elemento, acrescentado na dopagem, aumenta muito a sua condutividade. O fósforo ou o arsénio dão ao cristal eletrões a mais, e obtém-se material do tipo n. O boro ou o gálio deixam lacunas que se comportam como cargas positivas, e obtém-se material do tipo p.

Onde um material p encontra um material n forma-se uma junção que só deixa passar a corrente facilmente num sentido. Um transístor de junção empilha três camadas, n-p-n ou p-n-p, chamadas emissor, base e coletor. A base é muito fina. Num transístor n-p-n, uma pequena corrente que entra na base deixa passar do coletor para o emissor uma corrente muito maior, muitas vezes cem vezes superior ou mais. Num transístor p-n-p, todos os sentidos se invertem.

Antes de 1950, a válvula eletrónica fazia o mesmo trabalho, mas precisava de um filamento quente, de uma ampola de vidro e de muito mais energia.

A maioria dos transístores fabricados hoje são transístores de efeito de campo (MOSFET). Neles, uma tensão aplicada a uma porta, isolada do silício por uma fina camada de óxido, abre ou fecha um estreito canal condutor logo por baixo. Enquanto a porta mantém o seu estado, quase não entra corrente nela. Nos circuitos CMOS dos chips, um transístor consome sobretudo quando comuta, e essa é uma das razões por que cabem milhares de milhões num só chip.

Como construir

Os transístores modernos saem de fábricas que exigem silício ultrapuro, salas limpas e máquinas que valem milhares de milhões. O que se segue é uma panorâmica histórica de como os primeiros foram feitos, pela ordem que uma oficina de reconstrução seguiria: primeiro um detetor de ponta, depois um transístor de contacto pontual e só mais tarde as junções. Não é uma receita; quem quiser ver um transístor a funcionar deve usar um de fabrico industrial num circuito de baixa tensão.

Arranjar um cristal adequado. Os dispositivos de contacto pontual precisam de um pedaço de germânio do tipo n bastante puro. Nos anos 1940, vinha da investigação de guerra sobre detetores de radar. A galena (sulfureto de chumbo), o cristal com «bigode de gato» dos primeiros rádios, só dá um díodo detetor rudimentar.

Preparar a superfície. É desbastada até ficar plana e depois decapada, porque o comportamento dos contactos depende dela. Este passo usa ácidos fortes e pertence a um laboratório devidamente equipado.

Fazer os contactos. Duas pontas metálicas finas, ou uma folha de ouro cortada sobre uma cunha de plástico como em 1947, têm de tocar no cristal muito próximas uma da outra. Uma mola mantém-nas sob uma pressão leve e constante. A face inferior do cristal é soldada a um bloco metálico que forma o terceiro terminal.

Formar e testar. Os primeiros fabricantes «formavam» o contacto do coletor fazendo passar por ele breves impulsos de corrente, o que melhorava o ganho, e depois mediam cada transístor. Muitos falhavam, e só se

guardavam os que passavam nos testes.

Passar às junções. Os transístores de junção crescida precisam de cristais puxados de um banho fundido com dopagem controlada, o que exige um forno com regulação fina da temperatura e atmosfera inerte. Os transístores de junção por liga, fabricados desde o início dos anos 1950, faziam-se de outro modo: fundiam-se pequenas esferas de índio nas duas faces de uma fina placa de germânio. Ambos são processos industriais.

> **Segurança.** Os ácidos de decapagem queimam a pele e os olhos; o ácido fluorídrico, usado para decapar o silício, pode envenenar o organismo através da pele, com sintomas tardios, mesmo após um pequeno salpico, e deve ficar a cargo de especialistas. Não respire o pó de germânio nem de silício. O ferro de soldar queima, e a solda antiga contém chumbo. Teste os circuitos em baixa tensão; a corrente da rede pode matar.

História e evolução

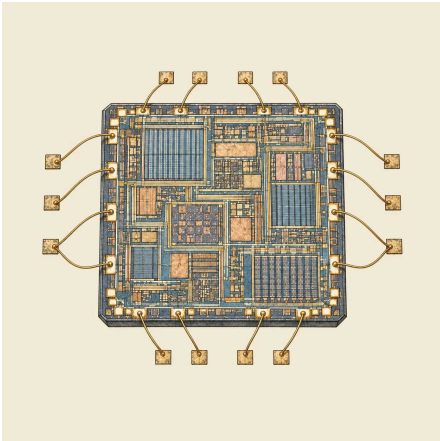
O Regency TR-1 de 1954 precisava de apenas quatro transístores.

Desde os anos 1920 que os engenheiros procuravam um substituto sólido para a válvula eletrónica. Julius Lilienfeld pediu em 1925 uma patente para um dispositivo de efeito de campo, mas não há registo de nenhum protótipo que funcionasse. Depois da Segunda Guerra Mundial, os Bell Labs criaram um grupo de física do estado sólido dirigido por William Shockley para encontrar um amplificador para a rede telefónica. O projeto de efeito de campo de Shockley não funcionou. John Bardeen atribuiu a falha a eletrões presos à superfície do cristal, e ele e Walter Brattain tentaram então fazer passar a corrente por contactos pontuais.

A 16 de dezembro de 1947, a montagem deles amplificou um sinal. Uma semana depois, mostraram-na à direção dos Bell Labs. A empresa anunciou a invenção em Nova Iorque a 30 de junho de 1948, e o engenheiro John Pierce cunhou o nome «transístor». No mesmo ano, em Paris, Herbert Mataré e Heinrich Welker construíram de forma independente um dispositivo semelhante, a que chamaram «transistron».

Os transístores de contacto pontual eram frágeis. Em janeiro de 1948, Shockley concebeu o transístor de junção, que os Bell Labs conseguiram produzir a partir de 1951. O rádio de bolso Regency TR-1, de 1954, usava quatro transístores de germânio da Texas Instruments e vendeu mais de 100 000 unidades. Depois, o silício, que suporta melhor o calor, substituiu o germânio.

Em 1958, Jack Kilby, na Texas Instruments, construiu o primeiro circuito integrado numa pequena barra de germânio. Mohamed Atalla e Dawon Kahng apresentaram o transístor MOS nos Bell Labs em 1960. Bardeen, Brattain e Shockley partilharam o Prémio Nobel da Física de 1956. Desde então, os transístores não pararam de encolher, e o transístor MOS é hoje o objeto fabricado em maior número.



Um circuito integrado reúne muitos transístores e as suas ligações num único pedaço de silício.

Números-chave

Primeiro dispositivo a funcionar
16 de dezembro de 1947, Bell Labs, Nova Jérsia

Apresentação pública
30 de junho de 1948, Nova Iorque

Transístores fabricados até hoje
Cerca de 13×10^{21}, 99,9 % deles MOS (estimativa do analista Jim Handy)

Pedido de patente de Bardeen e Brattain
17 de junho de 1948 (US 2,524,035)

Prémio Nobel da Física
1956, Bardeen, Brattain e Shockley

Fontes

1. 1947: Invention of the point-contact transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/invention-of-the-point-contact-transistor/
2. 1948: Conception of the junction transistor · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/conception-of-the-junction-transistor/
3. Milestones: First semiconductor integrated circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
4. 13 sextillion and counting: the long and winding road to the most frequently manufactured human artifact in history · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/13-sextillion-counting-the-long-winding-road-to-the-most-frequently-manufactured-human-artifact-in-history/
5. Regency TR-1 · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Regency_TR-1
6. Transistor · Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor
7. The Transistor, A Semi-Conductor Triode (Bardeen and Brattain, Physical Review 74, 230) · American Physical Society https://doi.org/10.1103/PhysRev.74.230
8. Some Circuit Aspects of the Transistor (Ryder and Kircher, Bell System Technical Journal 28, 367) · Bell Telephone Laboratories https://archive.org/details/bstj28-3-367
9. The Surface State Job · Computer History Museum https://computerhistory.org/blog/the-surface-state-job/

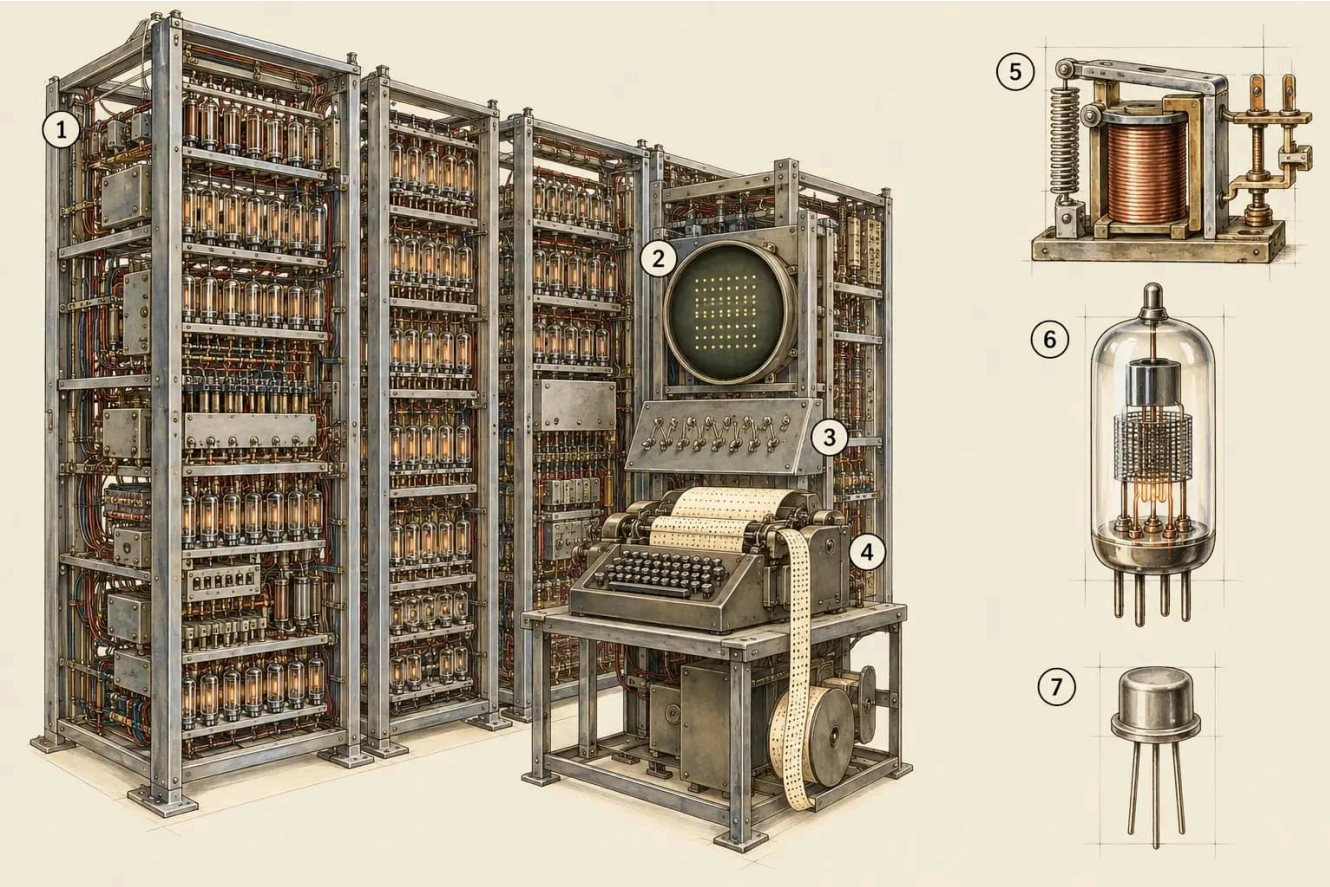
Factos verificados em 2026-10-11

Computador

Uma máquina com o programa na memória

1948 · Época moderna · Era elétrica

Requer: Transístor (p. 361), Numeração posicional (p. 97)



1 Bastidores de válvulas de vácuo 2 Tubo de memória catódico: um ponto por bit 3 Painel de interruptores para introduzir dados 4 Teleimpressora e fita perfurada 5 Relé: um interruptor movido por um eletroíman 6 Válvula de vácuo: a grelha comanda a corrente 7 Transístor: o interruptor de semicondutor

Um computador é uma máquina de calcular programável; o modelo atual guarda o programa na sua própria memória e calcula em binário, com interruptores que só estão ligados ou desligados. O primeiro a executar um programa a partir de uma memória eletrónica foi o «Baby» de Manchester, a 21 de junho de 1948, e telemóveis e portáteis seguem ainda o seu esquema.

O que é

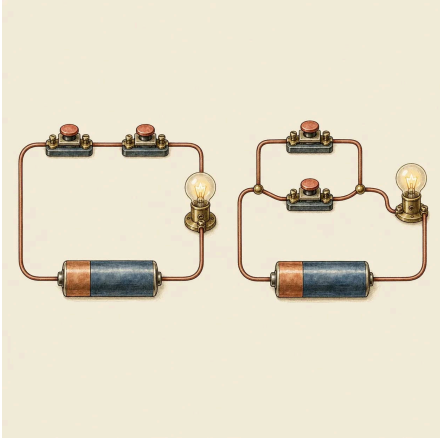
Um computador executa um programa, uma lista de instruções, sobre dados. No esquema de programa armazenado aqui descrito, o programa está na mesma memória que os números com que trabalha, por isso a máquina pode carregar um novo, alterá-lo ou escrever outro sem ser reconstruída. Esta ideia distingue o computador de programa armazenado das máquinas programáveis anteriores, que recebiam as instruções de fitas, cartões, fichas ou comutadores.

Os computadores atuais trabalham em binário, só com os algarismos 0 e 1, porque dois estados são fáceis de tornar fiáveis: um interruptor está aberto ou fechado. O ENIAC e algumas outras máquinas antigas ainda contavam em decimal. Para uma sociedade que reconstrói as suas ferramentas, faz cálculos, controla máquinas como bombas e redes elétricas e transmite mensagens.

Como funciona

Os números binários. O binário é um sistema posicional como os nossos algarismos decimais, mas cada posição vale o dobro da que está à sua direita: 1, 2, 4, 8, 16. Treze é 8 + 4 + 1 e escreve-se 1101. Oito algarismos binários, ou bits, chegam para todos os inteiros de 0 a 255.

As portas lógicas. Dois interruptores em série só acendem uma lâmpada se ambos estiverem fechados: é uma porta E. Em paralelo, basta qualquer um: uma porta OU. Um relé cujo contacto abre quando a bobina recebe corrente forma uma porta NÃO, que transforma 1 em 0. O relé é movido por um eletroíman, a válvula de vácuo pela tensão na sua grelha, o transístor pelo sinal na base ou na porta. Com E, OU e NÃO pode exprimir-se qualquer regra que leve de bits de entrada a bits de saída.



Em série, a lâmpada só acende se os dois botões forem premidos; em paralelo, basta um.

Somar com portas. Em binário, 1 + 1 dá 10: soma 0, transporte 1. O bit de soma vale 1 quando exatamente uma entrada vale 1, uma regra chamada OU exclusivo (XOR); o transporte só vale 1 se ambas valerem 1, o que é um E. Juntas formam um semissomador. Um somador completo recebe ainda o transporte da coluna da direita, e oito em cadeia somam dois números de 8 bits, coluna a coluna, como um aluno no caderno.

A memória. Duas portas NÃO-OU (um OU seguido de um NÃO), em que cada saída alimenta uma entrada da outra, formam uma báscula: um impulso numa das entradas livres põe-na a 1, um impulso na outra repõe-na a 0, e ela guarda esse bit enquanto houver corrente. Manchester guardava os bits como pontos carregados num tubo catódico, o EDSAC como impulsos sonoros em tubos de mercúrio. Cada palavra, um grupo de bits, tem um número, o seu endereço.

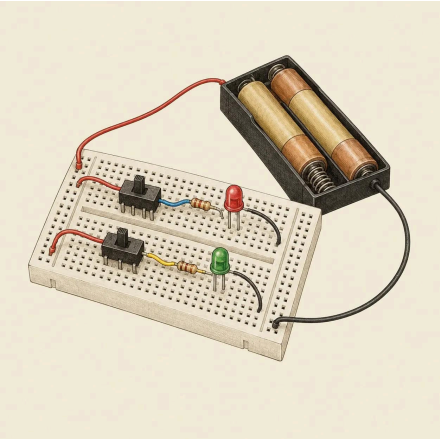
O ciclo. Um registo, o contador de programa, contém o endereço da instrução seguinte. O processador vai buscá-la, descodifica-a, executa-a e recomeça. Uma instrução pode somar um número da memória ao acumulador, guardar um resultado ou saltar para outro sítio se um valor for negativo; esse salto condicional permite ao programa repetir e escolher. Teclados e sensores trazem os dados; ecrãs, impressoras e motores levam os resultados.

Como construir

Um processador moderno exige uma fábrica de chips, mas a sua lógica aprende-se em cima de uma mesa.

Reunir o material. Uma placa de ensaio sem soldadura, duas ou três pilhas AA num suporte (3 a 4,5 V) ou uma fonte USB de 5 V, dois comutadores de dois polos, dois LED, duas resistências de 330 a 470 ohms e fio. Cada LED monta-se com a perna comprida (ânodo) do lado do comutador e a curta (cátodo) nos 0 V. Escreva primeiro a tabela de verdade: para as entradas A B = 00, 01, 10, 11, a soma é 0, 1, 1, 0 e o transporte 0, 0, 0, 1.

Ligar o transporte. Leve a alimentação ao comum do primeiro polo de A, o seu contacto «ligado» ao comum do primeiro polo de B, e esse contacto «ligado» a um LED através de uma resistência; a outra perna do LED volta aos 0



Experimente primeiro cada interruptor com o seu LED; um LED precisa sempre de uma resistência em série.

V. Só acende com 11: é o E.

Ligar a soma. Nos segundos polos, ligue o contacto «ligado» de A ao contacto «desligado» de B, e o «desligado» de A ao «ligado» de B. Alimente o comum de A e leve o comum de B ao segundo LED através de uma resistência, com o cátodo nos 0 V. Acende quando os comutadores estão em posições diferentes: é o XOR. Confira os quatro casos com a tabela.

Encadear um somador maior. Um somador completo são dois semissomadores e uma porta OU que junta os seus transportes. A partir daqui, os circuitos lógicos integrados são mais práticos: um somador de 4 bits precisa de dois 74HC86 (XOR), dois 74HC08 (E) e um 74HC32 (OU). Alimente-os como indica a folha de dados (pino 14 ao positivo, pino 7 aos 0 V, um condensador de 100 nF entre os dois). Cada transporte de saída entra na coluna seguinte e o primeiro transporte de entrada vai aos 0 V; cada entrada de comutador leva uma resistência de 10 quilo-ohms para os 0 V, e cada LED de saída uma de 1 quilo-ohm.

Pôr um computador a funcionar em papel. Desenhe oito casas de memória numeradas, um acumulador e um contador de programa a 0. Escreva CARREGA 5 na casa 0, SOMA 6 na 1, GUARDA 7 na 2, PARA na 3, e depois 3 na casa 5 e 4 na 6. Faça de processador: leia a casa indicada pelo contador, execute-a, some um ao contador. A casa 7 acaba por conter 7. Codifique agora cada instrução com dois algarismos, primeiro a operação e depois o endereço, com CARREGA 1, SOMA 2, GUARDA 3 e PARA 0: o programa passa a ser 15, 26, 37, 00, números no meio dos dados.

> **Segurança.** Só pilhas ou uma fonte USB de 5 V, nunca a corrente da rede. Cada LED precisa da sua resistência. Uma pilha ou uma bateria externa em curto-circuito pode aquecer os fios ao ponto de queimar. Desligue a alimentação antes de mudar as ligações. A saída de um chip não consegue alimentar a bobina de um relé: comande-a através de um transístor adequado à sua corrente e coloque um díodo em paralelo com a bobina, com a ponta marcada por uma risca (o cátodo) virada para o positivo, para absorver o pico de tensão quando desliga.

História e evolução

A máquina analítica de Charles Babbage, concebida em 1834, tinha um armazém, um moinho para o cálculo e um programa em cartões perfurados; nunca foi construída. Ada Lovelace publicou em 1843 uma sequência de operações para ela. As tabuladoras elétricas de cartões de Herman Hollerith apuraram o recenseamento dos Estados Unidos de 1890.

Esboço simplificado da parte da sua primeira máquina diferencial, um sétimo, que Babbage mandou montar em 1832; ainda funciona.

Em 1936, Alan Turing descreveu uma máquina universal que lê as instruções na mesma fita que os dados. Konrad Zuse apresentou em Berlim o seu Z3 de relés a 12 de maio de 1941. Desde fevereiro de 1944, o Colossus eletrónico de Tommy Flowers ajudou a quebrar a cifra alemã Lorenz em Bletchley Park; manteve-se secreto até aos anos 1970. O ENIAC de J. Presper Eckert e John Mauchly, em Filadélfia, apresentado em 1946, era de uso geral, mas programava-se mudando cabos de sítio. Cada um pode reclamar o primeiro lugar, conforme se exija eletrónica, uso geral ou programa armazenado.

O relatório de John von Neumann sobre o EDVAC, de 1945, nascido do trabalho com Eckert, Mauchly e outros, descrevia uma máquina que guardava programa e dados numa só memória. A primeira a funcionar foi o «Baby» de Manchester, de Frederic Williams, Tom Kilburn e Geoff Tootill, a 21 de junho de 1948. O EDSAC de Maurice Wilkes, em Cambridge, seguiu-se a 6 de maio de 1949 e depressa serviu os seus utilizadores.

Manchester pôs a funcionar um computador de transístores em novembro de 1953. Os circuitos integrados, fabricados pela primeira vez em 1958, entraram nos computadores nos anos 1960 e, em 1971, o 4004 da Intel colocou um processador inteiro num só chip.

Números-chave

Zuse Z3, de relés, programa em película perfurada
Apresentado em Berlim a 12 de maio de 1941

ENIAC
Apresentado em fevereiro de 1946; cerca de 18 000 válvulas de vácuo, 30 toneladas curtas americanas (cerca de 27 t), 150 kW

Intel 4004, primeiro microprocessador comercial
1971, cerca de 2300 transístores num só chip

Colossus, eletrónico, configurado com fichas e comutadores
Em serviço em Bletchley Park desde fevereiro de 1944; cerca de 1600 válvulas, 2400 a 2500 nos modelos seguintes

Primeiro programa armazenado executado
21 de junho de 1948, Manchester: 17 instruções, memória de 32 palavras de 32 bits

Fontes

1. Timeline of Computer History: Computers · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/timeline/computers/
2. The Modern History of Computing (B. Jack Copeland) · Stanford Encyclopedia of Philosophy https://plato.stanford.edu/entries/computing-history/
3. Mark 1 Story: The Baby · University of Manchester, Department of Computer Science https://www.curation.cs.manchester.ac.uk/computer50/www.computer50.org/mark1/new.baby.html
4. Milestones: Manchester University "Baby" Computer and its Derivatives, 1948–1951 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:Manchester_University_%22Baby%22_Computer_and_its_Derivatives,_1948-1951
5. Colossus · The National Museum of Computing https://www.tnmoc.org/colossus
6. ENIAC · Penn Engineering, University of Pennsylvania https://www.engineering.upenn.edu/about/history-heritage/eniac/
7. A brief informal history of the Computer Laboratory · University of Cambridge Computer Laboratory https://www.cl.cam.ac.uk/events/EDSAC99/history.html
8. The Engines · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/engines/
9. Ada Lovelace · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/babbage/adalovelace/
10. Tabulation and Processing · U.S. Census Bureau https://www.census.gov/about/history/bureau-history/census-innovations/technology/tabulation-and-processing.html
11. Milestones: First Semiconductor Integrated Circuit (IC), 1958 · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Semiconductor_Integrated_Circuit_(IC),_1958
12. 1971: Microprocessor integrates CPU function onto a single chip · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/microprocessor-integrates-cpu-function-onto-a-single-chip/
13. 74HC86; 74HCT86 Quad 2-input EXCLUSIVE-OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT86.pdf
14. 74HC08; 74HCT08 Quad 2-input AND gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT08.pdf
15. 74HC32; 74HCT32 Quad 2-input OR gate (data sheet) · Nexperia https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT32.pdf
16. SN74HC86 Quadruple 2-Input Exclusive-OR Gates (data sheet) · Texas Instruments https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc86.pdf
17. Full Adder · HyperPhysics, Georgia State University https://hyperphysics.gsu.edu/hbase/Electronic/fulladd.html
18. Binary Adder and Binary Addition · Electronics Tutorials https://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb_7.html

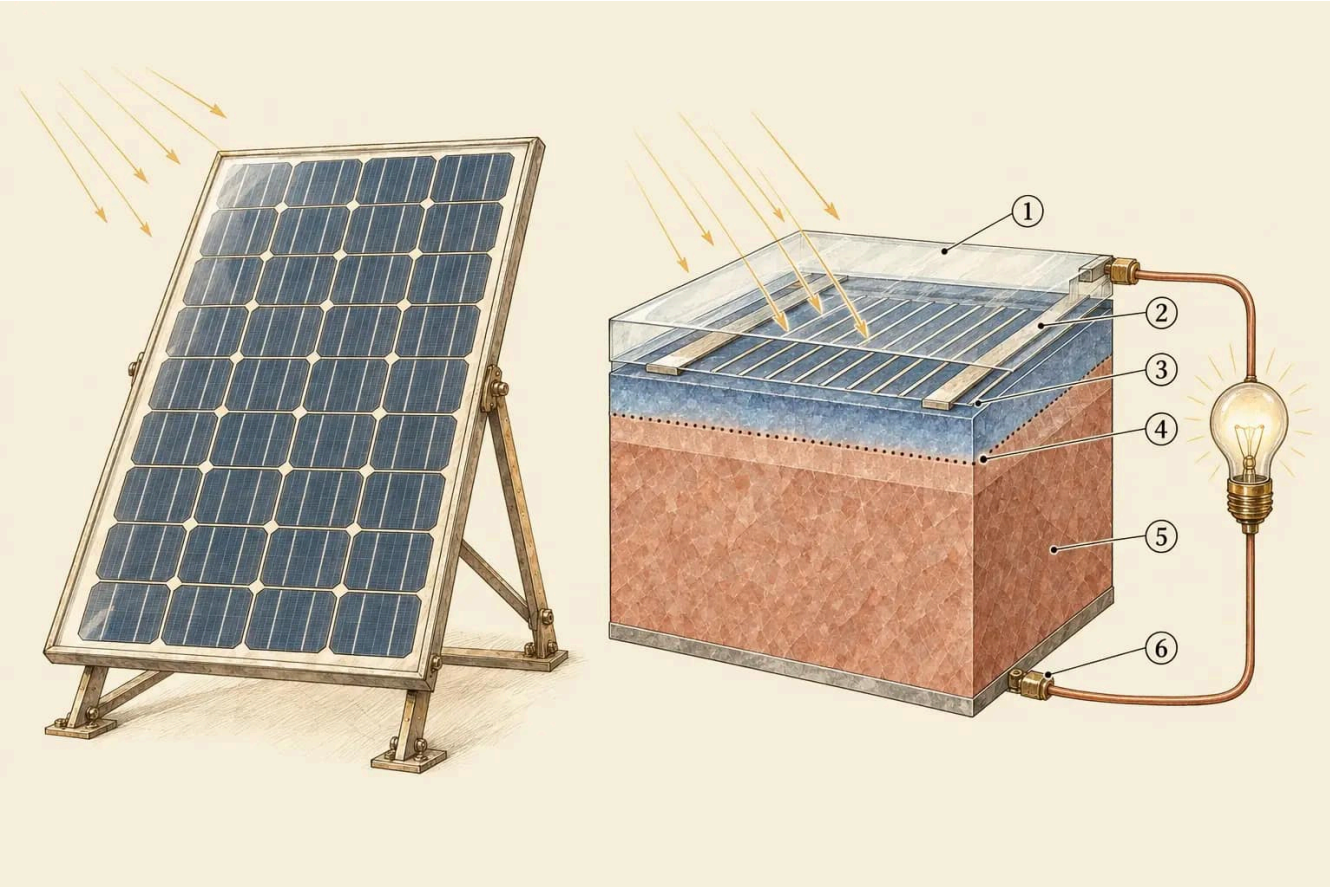
Factos verificados em 2026-10-14

Célula solar

A luz do sol feita corrente

1954 · Época moderna · Era elétrica

Requer: Transístor (p. 361), Pilha elétrica (p. 240), Vidro (p. 132)



1 Cobertura de vidro 2 Grelha de contacto frontal 3 Camada fina de tipo n (fósforo) 4 Junção p-n 5 Base de tipo p (boro) 6 Contacto traseiro

Uma célula solar é uma fatia fina de semicondutor em que a luz liberta eletrões, que um campo elétrico interno empurra para os contactos sob a forma de corrente, sem peças móveis nem combustível. Os Bell Labs apresentaram a primeira célula de silício utilizável em 1954, e a energia solar forneceu 8,7% da eletricidade mundial em 2025.

O que é

Uma célula solar transforma a luz diretamente em corrente elétrica, sem peças móveis nem combustível. Quase todas são fatias quadradas de silício um pouco mais largas do que uma mão. Cada uma dá cerca de meio volt ao sol, por isso ligam-se dezenas delas por baixo de um vidro para formar um painel, como o de 36 células da prancha.

A data escolhida é abril de 1954, quando os Bell Labs apresentaram uma célula de silício que convertia cerca de 6% da luz solar em eletricidade, o suficiente para alimentar aparelhos a sério. Becquerel já tinha visto a luz produzir corrente em 1839, mas as células de selénio feitas a partir de 1883 ficavam abaixo de 1%.

Como funciona

O silício puro conduz mal. A dopagem com um vestígio de fósforo dá-lhe eletrões a mais (tipo n); um vestígio de boro deixa lacunas que se comportam como cargas positivas (tipo p). Uma célula clássica é uma bolacha dopada com boro cuja face da frente é impregnada de fósforo até menos de um milésimo de milímetro. Onde as duas zonas se encontram, eletrões e lacunas anulam-se numa faixa estreita. Ficam cargas fixas que mantêm um campo elétrico permanente através desta junção p-n.

As células são serradas de um monocristal de silício que cresce a partir do material fundido; hoje uma bolacha tem cerca de 0,14 mm de espessura.

Um fotão com energia suficiente arranca um eletrão à sua ligação no cristal e deixa uma lacuna no seu lugar. Perto da junção, o campo empurra o eletrão para o lado n e a lacuna para o lado p. Os eletrões juntam-se nos dedos da frente, percorrem o circuito exterior, onde acendem uma lâmpada ou carregam uma bateria, e regressam pelo contacto traseiro.

Em vazio, uma célula marca cerca de 0,6 a 0,7 V, e cerca de 0,5 V quando fornece energia. A tensão quase não muda com a luz, mas a corrente acompanha-a: metade da luz, mais ou menos metade da corrente. Em série as tensões somam-se; 36 células trabalham assim a cerca de 17 V, o bastante para carregar uma bateria de 12 V. Em paralelo somam-se as correntes. Uma única célula à sombra trava toda a sua fileira, e é por isso que os painéis trazem díodos de desvio.

O silício deixa passar sem a aproveitar a luz infravermelha acima de cerca de 1,1 micrómetros, e os fotões com energia a mais perdem o excesso em calor. Em 1961, William Shockley e Hans-Joachim Queisser mostraram que estas perdas limitam uma célula de junção única a cerca de um terço da luz solar. O silício tem ainda perdas próprias do cristal, que baixam o seu limite para cerca de 29%; a melhor célula de laboratório atingia 28,1% em 2026. O calor também reduz a produção: uma célula de silício convencional perde cerca de 0,4 a 0,5% da potência por cada grau Celsius, sobretudo porque a tensão desce.

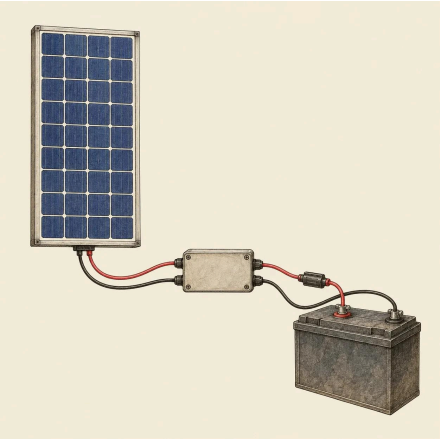
Como fazer

Fabricar células é trabalho de fábrica. Uma pequena instalação de 12 V com painéis comprados, peças compatíveis e as instruções de cada fabricante está, porém, ao alcance de um amador cuidadoso.

Dimensionar o painel. Quatro lâmpadas LED de 5 W acesas 4 horas e um rádio de 10 W durante 2 horas gastam 100 watts-hora (Wh) por dia. Um painel dá mais ou menos a sua potência nominal × as horas de sol pleno equivalentes (a energia solar do dia contada em horas de sol pleno, no mês mais escuro) × 0,7 para calor, pó e cabos. Um painel de 100 W com 3 horas de sol pleno dá cerca de 210 Wh: margem confortável.

Escolher a bateria. Conte com um a três dias encobertos. Uma bateria de chumbo dura mais se raramente descer abaixo de metade. Uma de lítio-ferro-fosfato pode ser usada quase por inteiro, mas só com a sua eletrónica de gestão e um regulador configurado para lítio; a maioria não pode ser carregada abaixo de 0 °C. Dois dias de 100 Wh tirados de uma bateria de chumbo de 12 V usada até metade exigem pelo menos 33 Ah: escolha 40 Ah.

Instalar um regulador de carga. Nunca ligue um painel diretamente a uma bateria. O regulador doseia a carga para que a bateria nunca fique sobrecarregada e depois mantém-na cheia, e os aparelhos ligados à sua saída de consumo são desligados antes de ela se esvaziar. Um regulador PWM simples deve aguentar pelo menos 1,25



Painel, regulador e bateria, com o fusível no cabo positivo junto à bateria.

vezes a corrente de curto-circuito do painel. Num modelo MPPT, compare os seus limites de tensão, corrente e potência com a ficha técnica do painel, sabendo que a tensão em vazio sobe com o frio.

Fusível e cabos. Coloque no cabo positivo, encostado à bateria, um fusível próprio para corrente contínua. O seu calibre deve ser inferior ao que o cabo aguenta e superior à corrente normal mais alta, e tem de conseguir cortar a corrente enorme que uma bateria dá em curto-circuito. A 10 A, um painel a 5 m (10 m de cobre) perde cerca de 0,3 V num cabo de exterior de 6 mm^2; um fio mais fino perde mais.

Montar e limpar. Vire o painel para o equador, sem sombra nas horas centrais do dia, inclinado mais ou menos como a latitude do lugar para uso todo o ano. Lave o pó com água e uma escova macia. Um inversor pode transformar os 12 V em tensão da rede, tão perigosa como a própria rede.

Medir uma célula. Ao sol, leia a tensão de uma célula pequena na posição de volts em contínua de um multímetro. Passe depois para amperes em contínua, mude o cabo vermelho para a entrada de 10 A e toque nos terminais da célula: lê assim a sua corrente de curto-circuito. Confirme antes que a corrente indicada na célula fica muito abaixo do limite de 10 A do multímetro, e mantenha as pontas só alguns segundos. À sombra, a tensão quase não se mexe e a corrente cai. Volte a pôr o cabo vermelho na entrada dos volts e nunca meça assim a corrente de uma bateria.

> **Segurança.** Um painel produz tensão assim que a luz lhe chega: cubra-o durante a cablagem. A corrente contínua pode manter um arco quando se desliga um conector em carga; para mexer na instalação, cubra o painel, desligue primeiro o painel e por último a bateria, e volte a ligar pela ordem inversa. Um curto-circuito nos terminais de uma bateria funde ferramentas e provoca incêndios, e o fusível não impede o de uma chave pousada sobre os dois terminais: ferramentas isoladas e tampas nos terminais. Ao carregar, as baterias de chumbo libertam hidrogénio: areje, nada de faíscas, óculos de proteção. Num telhado, arnês e ponto de ancoragem, ou chame profissionais. Tudo o que estiver ligado à rede, incluindo inversores, é trabalho para um eletricista qualificado.

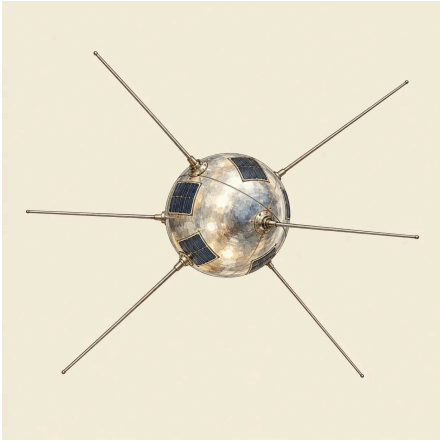
História e evolução

Em 1839, Edmond Becquerel, com 19 anos, iluminou elétrodos revestidos de cloreto de prata mergulhados num ácido e mediu uma corrente fraca. Em 1873, o engenheiro inglês Willoughby Smith, ao testar cabos telegráficos submarinos, reparou que o selénio conduz melhor à luz; em 1883, o americano Charles Fritts fez células de selénio sob uma folha de ouro tão fina que deixava passar a luz. Em 1905, Albert Einstein explicou que a luz chega em pacotes cuja energia depende da sua cor.

Em 1940, Russell Ohl, nos Bell Labs, verificou que uma amostra de silício com fósforo de um lado e boro do outro dava corrente à luz: a primeira junção p-n, com um rendimento de cerca de 1%. Em 1953, o seu colega Daryl Chapin procurava alimentar equipamento telefónico isolado e só conseguia 0,5% com selénio. O silício dopado de Calvin Fuller e Gerald Pearson saiu-se muito melhor, e a célula apresentada a 25 de abril de 1954 fez girar uma roda-gigante de brinquedo.

As primeiras células de silício eram caras demais para o uso corrente, e o seu primeiro cliente fixo foi o espaço. O Vanguard 1, lançado em março de 1958, levava seis pequenos painéis de 18 células cada: o emissor a pilhas calou-se em junho de 1958, o solar emitiu até maio de 1964. Com o crescimento das fábricas, o preço dos módulos desceu de cerca de 132 dólares por watt em 1975 para 0,27 dólares em 2024 (em dólares de 2025). Hoje a maioria

das células parte de bolachas dopadas com fósforo, com o boro na face da frente. Em 2025, os painéis solares produziram 8,7% da eletricidade mundial, segundo a Ember (abril de 2026).



Vanguard 1, 1958: seis pequenos painéis de células solares numa esfera com cerca de 16 cm de diâmetro.

Números-chave

Primeira célula utilizável

Apresentada pelos Bell Labs a 25 de abril de 1954, com rendimento de cerca de 6%

Rendimento hoje

28,1% para a melhor célula de silício de laboratório; pouco menos de 25% nos melhores módulos comerciais (Fraunhofer ISE, julho de 2026)

Parte da eletricidade mundial

8,7% em 2025, contra 1,1% em 2015 (Ember, abril de 2026)

Tensão de uma célula de silício

Cerca de 0,6–0,7 V em vazio, cerca de 0,5 V em carga

Efeito do calor

Cerca de 0,4–0,5% menos potência por °C numa célula de silício convencional; a ficha técnica de cada painel indica o seu valor

Fontes

1. April 25, 1954: Bell Labs demonstrates the first practical silicon solar cell · American Physical Society, APS News https://aps.org/apsnews/2009/04/bell-labs-silicon-solar-cell
2. Milestones: First practical photovoltaic solar cell · IEEE Engineering and Technology History Wiki https://ethw.org/Milestones:First_Practical_Photovoltaic_Solar_Cell
3. 1940: Discovery of the p-n junction · Computer History Museum https://www.computerhistory.org/siliconengine/discovery-of-the-p-n-junction/
4. First photovoltaic devices · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://pveducation.org/es/fotovoltaica/first-photovoltaic-devices
5. Open-circuit voltage · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage
6. Effect of light intensity · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-light-intensity
7. Effect of temperature · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature
8. Limiting efficiency of crystalline silicon solar cells due to Coulomb-enhanced Auger recombination (Kerr, Cuevas, Campbell, 2003) · Australian National University https://researchportalplus.anu.edu.au/en/publications/limiting-efficiency-of-crystalline-silicon-solar-cells-due-to-cou/
9. Einstein and the photoelectric effect · American Physical Society, APS News https://www.aps.org/apsnews/2005/01/einstein-photoelectric-effect
10. Vanguard 1 · Linda Hall Library https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/vanguard-1/
11. Vanguard 1 celebrates 50 years in Earth's orbit (Spaceport News, 21 March 2008, p. 7) · NASA Kennedy Space Center https://www3.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/218158main_mar21color.pdf
12. Solar cell array design handbook, vol. 1 (JPL SP 43-38, 1976) · NASA / Jet Propulsion Laboratory https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19770007250/downloads/19770007250.pdf
13. Photovoltaics Report (14 July 2026) · Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE https://ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html
14. Solar PV module prices, 1975–2024 · Our World in Data https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices
15. Global Electricity Review 2026: electricity demand and supply trends · Ember https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2026/electricity-demand-and-supply-trends/
16. Solar electric system design, operation and installation (C. Roos, 2009) · Washington State University Extension Energy Program https://digitalarchives.wa.gov/do/046161B1997D0FFD8FA86C78CAFFAB5C.pdf
17. SmartSolar MPPT 100/30 and 100/50 manual: operation · Victron Energy https://www.victronenergy.com/media/pg/Manual_SmartSolar_MPPT_100-30__100-50/en/operation.html
18. Series resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/series-resistance
19. Shunt resistance · PVEducation (C. Honsberg and S. Bowden) https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/shunt-resistance
20. Single diode equivalent circuit models · Sandia National Laboratories, PV Performance Modeling Collaborative https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/single-diode-equivalent-circuit-models/
21. Production of upgraded metallurgical grade (UMG) silicon for a low-cost high-efficiency and reliable PV technology (Míguez Novoa et al., Frontiers in Photonics, 2024) · arXiv https://arxiv.org/abs/2604.04095

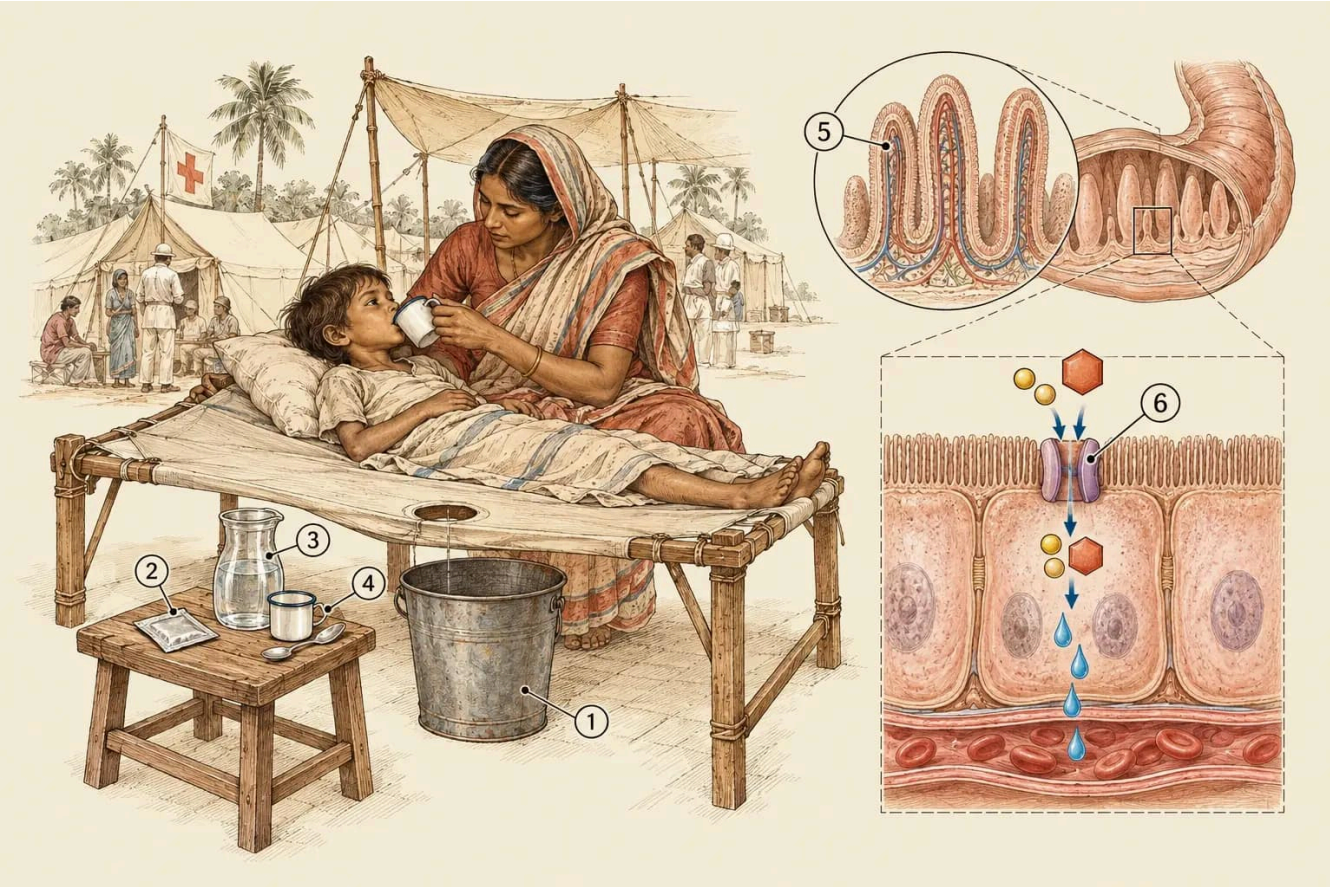
Factos verificados em 2026-10-14

Reidratação oral

Sal, açúcar e água contra a cólera

1968 · Época moderna · Era elétrica

Requer: Água potável (p. 35), Medidas e padrões (p. 127)



1 Cama de cólera com o balde 2 Saqueta de sais de reidratação oral 3 Jarro de água potável 4 Chávena e colher
5 Vilosidades do intestino delgado 6 Transportador de sódio e glicose numa célula da parede

A reidratação oral repõe a água e os sais perdidos na diarreia com uma bebida de água limpa, sais e glicose em proporções fixas, que o intestino continua a absorver mesmo durante a cólera. Comprovada em ensaios em Daca e Calcutá em 1968 e embalada em saquetas normalizadas desde os anos 1970, atribui-se-lhe a salvação de dezenas de milhões de crianças.

O que é

A diarreia mata porque seca o corpo. Na cólera, uma toxina faz a parede do intestino delgado despejar água e sais no tubo digestivo, e um adulto pode perder litros de fezes aquosas em poucas horas. O volume de sangue cai, os rins falham e, sem tratamento, a morte pode chegar no mesmo dia. Nas crianças, a maior parte das diarreias é mais ligeira, causada por vírus ou outras bactérias, mas ainda mata centenas de milhares delas por ano.

A reidratação oral repõe essas perdas pela boca. O doente bebe uma solução de água limpa, sal de cozinha, glicose, potássio e citrato, preparada a partir de uma saqueta de sais de reidratação oral (SRO). Não trava a diarreia; mantém o doente vivo enquanto o corpo vence a infeção.

A estampa mostra um acampamento de tratamento da cólera em Bengala no início dos anos 1970. Uma criança está deitada numa cama de cólera, cujo buraco e balde deixam as enfermeiras medir cada perda, enquanto a mãe lhe dá de beber por uma chávena. À direita, um corte da parede intestinal mostra porque é que o tratamento funciona.

Como funciona

O intestino delgado é forrado de vilosidades, minúsculas pregas em forma de dedo cobertas por uma única camada de células. Cada uma tem na membrana externa uma proteína que faz entrar juntos o sódio e a glicose: dois iões de sódio por cada molécula de glicose. Robert Crane propôs este acoplamento em Praga em 1960, e experiências com intestino de coelho confirmaram em 1964 que o açúcar arrasta a absorção de sódio. O cloreto segue o sódio, e a água segue os sais e o açúcar dissolvidos.

A toxina da cólera provoca a secreção, mas deixa este transportador a funcionar. Uma bebida com sódio e glicose é, por isso, absorvida mesmo enquanto o intestino perde líquido, e em quantidade suficiente acompanha as perdas.

A água sozinha não traz sal, por isso não chega para repor as perdas, e em grandes quantidades dilui o sódio que resta no sangue. As bebidas doces, como refrigerantes ou sumos de fruta, têm açúcar a mais e sal a menos. O açúcar em excesso fica no intestino e puxa água para lá, o que agrava a diarreia. A fórmula de osmolaridade reduzida, recomendada pela OMS no início dos anos 2000, tem menos sódio e glicose do que a primeira. Em crianças com diarreias que não são cólera, reduziu o volume das fezes entre um quinto e um quarto, consoante o estudo, e os soros não previstos em cerca de um terço.

Como se produz e se usa

Esta secção descreve como os sistemas de saúde fornecem os SRO e ensinam a usá-los. Não é uma receita caseira.

Saquetas industriais. As fábricas farmacêuticas misturam glicose purificada, cloreto de sódio, cloreto de potássio e citrato trissódico segundo a fórmula da OMS e selam o pó seco numa folha à prova de humidade; cada saqueta corresponde a um volume de água indicado. Em 2024, só a UNICEF entregou 29,2 milhões de saquetas a 56 países, muitas vezes embaladas com comprimidos de zinco, por bem menos de um dólar por tratamento.

Ensinar as famílias. No centro de saúde ou numa visita domiciliária, um agente de saúde mostra aos pais como dissolver uma saqueta no volume exato de água potável impresso nela, fervida e arrefecida se a origem for duvidosa. A solução dá-se em goles pequenos e frequentes, por chávena ou colher, mais devagar se a criança vomitar, e o que sobra ao fim de um dia deita-se fora. A amamentação e as refeições habituais continuam. A OMS recomenda ainda, para as crianças com diarreia, zinco durante 10 a 14 dias, que encurta o episódio e reduz o risco de outro pouco depois.

Uma agente de saúde mostra a uma mãe como esvaziar a saqueta inteira no volume de água potável impresso nela.

Reconhecer a desidratação. Os profissionais procuram agitação, olhos encovados e sede intensa, sinais de alguma desidratação. Uma criança com pelo menos dois dos sinais seguintes está gravemente desidratada: letargia ou inconsciência, olhos encovados, incapacidade de beber ou beber mal, e pele beliscada que volta muito devagar. Estes doentes, e qualquer pessoa em choque, recebem primeiro soro intravenoso numa unidade de saúde e depois continuam com SRO.

Uma prega de pele que leva dois segundos ou mais a desaparecer é um dos sinais de desidratação grave.

Quando procurar ajuda de imediato. Ensina-se aos pais a voltar logo se a criança ficar sonolenta, deixar de conseguir beber, vomitar sem parar, tiver sangue nas fezes, passar muitas horas sem urinar ou não melhorar. Os bebés muito pequenos e as crianças desnutridas precisam de um profissional de saúde desde o início.

> **Segurança.** Use saquetas de SRO já preparadas, dissolvidas exatamente no volume de água potável indicado na embalagem. Pó a mais torna a solução perigosa, água a mais torna-a menos eficaz. Se não houver saqueta à mão, continue a dar água potável, caldo ou leite materno, evite bebidas muito doces e procure cuidados de saúde. Os SRO não substituem os cuidados médicos: a desidratação pode matar uma criança pequena em poucas horas, e quem mostrar sinais de perigo deve ser levado sem demora a uma unidade de saúde.

História e evolução

Em 1832, em Leith, perto de Edimburgo, Thomas Latta seguiu uma sugestão de William O'Shaughnessy e injetou água salgada nas veias de moribundos. Alguns recuperaram, mas Latta morreu no ano seguinte e o método ficou esquecido durante meio século.

Nos anos 1960, o soro intravenoso, aperfeiçoado pelo médico da Marinha dos Estados Unidos Robert Phillips, baixou a mortalidade da cólera para menos de 1%, mas exigia líquido estéril, agulhas e pessoal treinado. Em Daca, então no Paquistão Oriental, e num centro da Universidade Johns Hopkins em Calcutá, investigadores experimentaram glicose e sal pela boca. Em 1968, Norbert Hirschhorn mostrou que a glicose reduzia a perda líquida de fezes, e David Nalin e Richard Cash relataram que os doentes que tomavam a bebida precisavam de menos 80% de soro intravenoso. A estampa adota 1968 como data.

As injeções de Latta exigiam uma seringa, uma veia e um médico à cabeceira.

Durante a guerra de 1971, a cólera rebentou entre os refugiados do Paquistão Oriental perto de Bongaon, na Índia. Com o soro intravenoso escasso, a equipa de Dilip Mahalanabis reservou-o para os casos mais graves e tratou os restantes pela boca. Dos 3703 doentes admitidos no seu centro morreram 3,6%, quando no início do surto a cólera matara quase 30% dos atingidos. O relatório só foi publicado em 1973.

A OMS e a UNICEF acordaram uma fórmula única em 1975, e em 1978 The Lancet chamou à descoberta o avanço médico potencialmente mais importante do século. De 1980 a 1990, a organização bangladeshiana BRAC enviou agentes de porta em porta para ensinar a mais de 12 milhões de mães uma bebida caseira de sal e açúcar não refinado. A OMS recomendou uma fórmula de osmolaridade reduzida no início dos anos 2000, e uma declaração conjunta com a UNICEF promoveu-a em 2004 juntamente com o zinco.

As estimativas de crianças salvas vão de mais de 50 milhões entre 1982 e 2007 a mais de 70 milhões até 2019, embora a água potável, o saneamento e as vacinas também tenham contribuído.

Números-chave

Ensaio de Nalin e Cash
The Lancet, agosto de 1968: menos 80% de soro intravenoso

Fórmula de osmolaridade reduzida da OMS
245 mOsm/l, contra 311 da solução original

Crianças salvas, 1982–2007
Mais de 50 milhões (estimativa de Fontaine, Garner e Bhan)

Centro de tratamento de Bongaon, 1971
Morreram 3,6% de 3703 doentes de cólera, contra quase 30% no início do surto

Mortes por diarreia antes dos cinco anos
Cerca de 444 000 por ano (OMS, 2024)

Fontes

1. Diarrhoeal disease (fact sheet, 7 March 2024) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease
2. Cholera (fact sheet) · World Health Organization https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera
3. Clinical management of acute diarrhoea: WHO/UNICEF joint statement (2004) · World Health Organization https://www.who.int/publications/i/item/WHO_FCH_CAH_04.7
4. Oral rehydration salts (ORS) and zinc · UNICEF Supply Division https://www.unicef.org/supply/oral-rehydration-salts-ors-and-zinc
5. Zinc and ORS (S. Singh, 2007) · Pediatric Oncall Journal, vol. 4 no. 1 https://www.pediatriconcall.com/pediatric-journal/view/fulltext-articles/165/J/0/0/251/0
6. Robert K. Crane: Na+-glucose cotransporter to cure? (K. L. Hamilton, 2013) · Frontiers in Physiology https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2013.00053/full
7. Oral rehydration therapy: a low-tech solution that has saved millions of lives · Our World in Data https://ourworldindata.org/oral-rehydration-therapy
8. Magic bullet: the history of oral rehydration therapy (J. N. Ruxin, 1994) · Medical History, vol. 38 no. 4 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1036912/
9. Leith in the time of cholera: the story of Thomas Latta (G. A. Venters) · Hektoen International https://hekint.org/2017/02/01/leith-in-the-time-of-cholera-the-story-of-thomas-latta/
10. Treatment of cholera: Robert Allan Phillips (1967 Clinical Medical Research Award) · Lasker Foundation https://laskerfoundation.org/winners/treatment-of-cholera/
11. A simple solution: the history of ORS in Bangladesh · The World (PRX) https://theworld.org/stories/2013/06/25/simple-solution-history-ors-bangladesh
12. Oral fluid therapy of cholera among Bangladesh refugees (Mahalanabis et al., 1973) · Johns Hopkins Medical Journal, vol. 132 no. 4 https://pure.johnshopkins.edu/en/publications/oral-fluid-therapy-of-cholera-among-bangladesh-refugees-5/
13. Treating cholera · Centers for Disease Control and Prevention https://www.cdc.gov/cholera/treatment/

Factos verificados em 2026-10-14

Índice remissivo

Aço 140
Água potável 35
Alumínio 335
Anestesia 294
Aqueduto 145
Arado 61
Arco e abóbada 73
Arco e flechas 18
Avião 352
Balão de ar quente 231
Bateria de chumbo-ácido 303
Betão armado 308
Betão romano 165
Bicicleta 253
Bomba de pistão 161
Borracha vulcanizada 290
Bronze 123
Bússola 193
Cal e argamassa de cal 31
Carvão vegetal 65
Célula solar 370
Cerâmica 23
Cerveja 77
Cimento Portland 257
Coelheira 177
Computador 365
Conservas e pasteurização 248
Corda e cordame 13
Curtimento do couro 101
Destilação 173
Domínio do fogo 9
Engrenagens 153
Escrita 85
Fechadura e chave 114
Ferramentas de pedra 5
Fotografia 261
Gerador elétrico 274
Grua e roldana 149
Higiene e antissepsia 299
Irrigação 52
Lâmpada incandescente 321
Locomotiva a vapor 244
Máquina a vapor 227
Máquina de costura 270
Medidas e padrões 127
Metalurgia do ferro 136
Microscópio 214
Moinho de vento 185
Motor de combustão interna 313
Motor elétrico 278
Navegação astronómica 210
Numeração posicional 97
Óculos 197
Pão 27
Papel 169
Penicilina 356
Pilha elétrica 240
Pólvora 181
Prensa de impressão 205
Queijo 57
Rádio 344
Radiografia 348
Refrigeração 282
Reidratação oral 375
Relógio de sol 105
Relógio mecânico 201
Roda de fiar 189
Roda de oleiro 119
Roda e eixo 81
Roda hidráulica 157
Rotação de culturas 109
Sabão 93
Salga 48
Tecelagem 44
Telefone 317
Telégrafo elétrico 286
Telescópio 218
Termómetro e barómetro 222
Tijolos 40
Tingimento 69
Transformador 330
Transístor 361
Turbina a vapor 325
Turbina eólica 339
Turbina hidráulica 265
Vacinação 235
Vela 89
Vidro 132

Como o códice é feito

Cada prancha é escrita a partir de fontes: museus, enciclopédias, trabalhos académicos e referências técnicas. As datas e os números são verificados em pelo menos duas fontes independentes, citadas no fim de cada prancha, e cada prancha é revista antes de ser publicada. Quando as fontes divergem, o texto di-lo.

As ilustrações das pranchas são produzidas com uma ferramenta de geração de imagens e depois verificadas à mão: cada mecanismo, cada número de peças e cada ligação é comparado com as fontes. As figuras interativas são desenhadas em código a partir de um modelo da máquina.

As palavras técnicas são explicadas no glossário.

Propriedade intelectual

Os textos, pranchas e figuras de The Last Codex são obras originais de Etienne Debost, publicadas sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt). Pode copiá-los e partilhá-los, incluindo o site inteiro para leitura offline, desde que cite The Last Codex e o seu endereço, não os altere e não faça deles uso comercial. Qualquer outro uso exige autorização escrita. O design e o código do site ficam fora desta licença: todos os direitos reservados.

Ícones: game-icons.net (CC BY 3.0) e Phosphor (MIT). Tipos de letra: EB Garamond, Source Sans 3 e IBM Plex Mono (SIL Open Font License).