

## **Apontamentos sobre a história da descoberta dos materiais e de algumas das suas aplicações**

### **Notes on the history of the discovery of materials and some of their applications**

António A. Salgado de Barros

#### **RESUMO**

Este documento segue o curso da descoberta e transformação dos materiais e faz uma breve reflexão sobre o progresso, por parte das primeiras comunidades, no aproveitamento dos recursos minerais por elas recolhidos e utilizados na transformação do meio que as acolheu, referindo, com algum detalhe, as dificuldades técnicas que foram sendo ultrapassadas com criatividade e perseverança.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Materiais; Descobertas científicas; Transformação de materiais

#### **ABSTRACT**

This document follows the process of discovery and transformation of materials and briefly reflects on the progress, by the first communities, in the exploitation of the mineral resources they collected and used in the transformation of the environment that welcomed them, referring, in some detail, to the technical difficulties that were overcome with creativity and perseverance.

#### **KEYWORDS**

Materials; Scientific discoveries; Transformation of materials



Figura 1 Monólitos de Stonehenge (3000 a.C.). Fotografia do autor, 2009.

Os hominídeos que desde há muito pisam o solo deste planeta Terra integraram-se num ambiente natural hostil, mas pleno de diversidade que os sustentou ao longo de milhões de anos de evolução. Quando a sua capacidade intelectual assim o permitiu, cresceu o interesse em explorar o que os rodeava no sentido de retirar o proveito possível dos meios disponíveis.

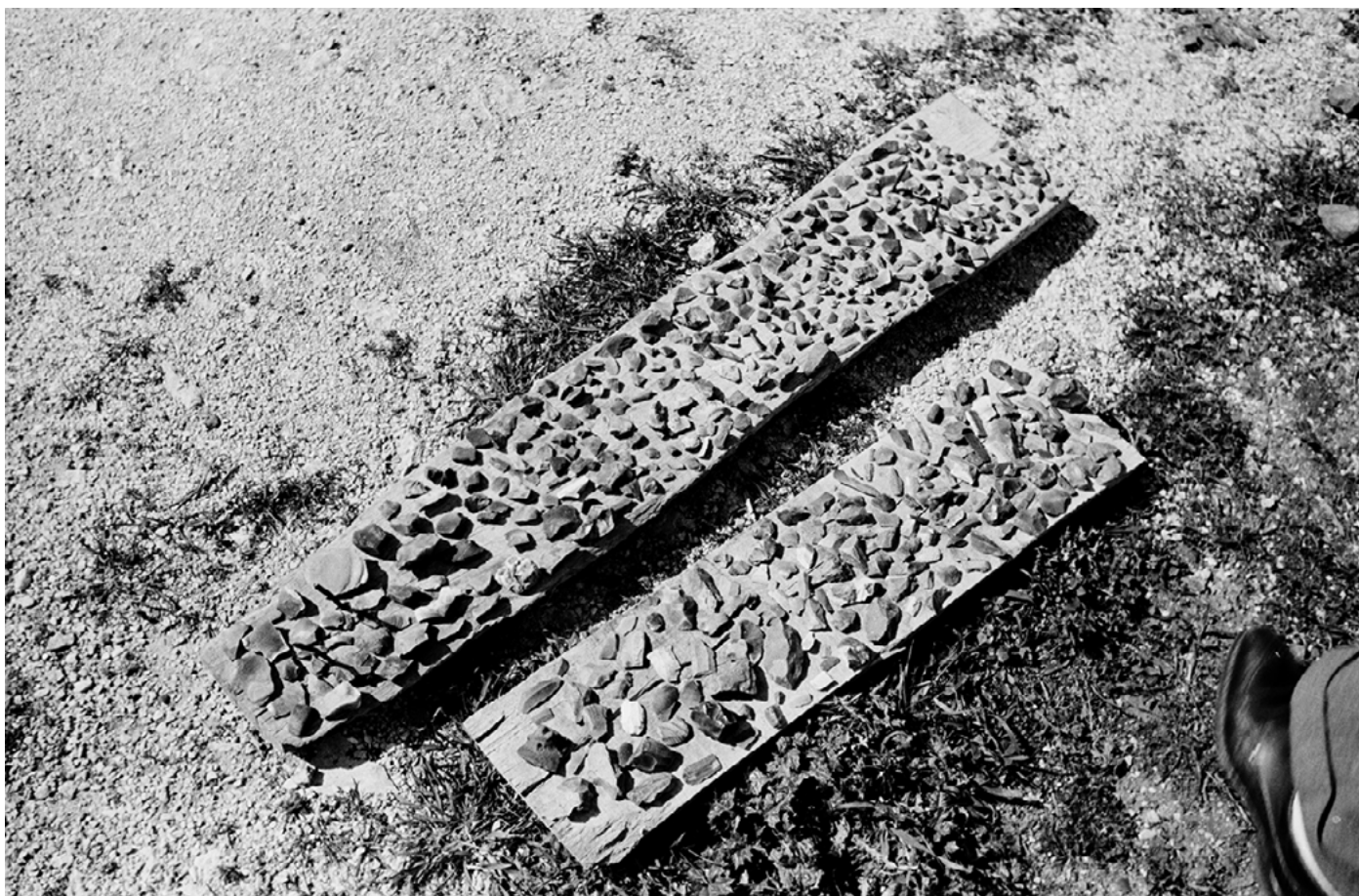
Alguns seres do género *Homo* anteriores ao *Sapiens*, o *Homo erectus* e o *Homo Neandertal*, para além de já usarem utensílios elementares dominavam o fogo (La nouvelle histoire de nos origines, 2018), competência que lhes conferia o reconhecimento de uma capacidade superior. A sua distribuição geográfica também foi diferente pois enquanto os *Sapiens* se expandiram pelo mundo inteiro, os *Neanderthal* restringiram-se à Europa e à Ásia central (Rosas, 2016, p. 9) e os *Erectus* ocuparam uma extensa zona deixando vestígios em África, ao longo do trajeto que realizaram de sul para norte a caminho da Europa (Leakey, 1989, p. 49), e ainda em Espanha, França e Hungria, existindo também sinais da sua presença na China oriental<sup>1</sup>.

Alguns durante a vivência destas gerações, iniciou-se a recolha, processamento e aplicação de matérias naturais disponíveis, transformadas ao longo do tempo nos materiais que foram sendo usados por comunidades restritas, que constituíram importantes civilizações com tradições e procedimentos bem definidos, que realizaram obras de extraordinário valor e dimensão. Mesmo no período Paleolítico a Humanidade já utilizava a pedra como matéria-prima de grandes construções. É o caso dos megálitos de Stonehenge no Reino Unido, alguns com mais de cinco metros de altura e 50 toneladas de peso (Figura 1) ou os monumentais túmulos de Newgrange, na Irlanda.

No período pré-histórico a progressão deu-se a um ritmo lento sendo difícil estabelecer a cronologia das descobertas, especialmente se estas forem próximas na escala geológica, só havendo a possibilidade de integrar os factos em épocas alargadas (Figura 2). Sendo no início o conhecimento empírico e, por conseguinte, pouco estruturado, era muito difícil ser rastreado, especialmente não havendo registos.

Também no período histórico o conhecimento foi sendo obtido não só pelo método *tentativa e erro* como ainda integrando a experiência adquirida como plataforma de partida para práticas mais ousadas,

<sup>1</sup> Dada a dificuldade de integrar os fósseis dos hominídeos dentro das espécies conhecidas, a distribuição deste hominídeo pode ser mais ou menos abrangente de acordo com a perspetiva de cada antropólogo (La nouvelle histoire de nos origines, 2018, p. 25).



**Figura 2** Fragmentos de sílex e cerâmica pré-histórica encontrados no Parque Florestal de Monsanto<sup>2</sup>. Arquivo Municipal de Lisboa (AML), PT/AMLSB/CMLSB/PCSP/004/FEC/000696.

numa perspetiva de *etapas progressivas*<sup>3</sup> complementadas por um espírito inovador, sujeitando a importantes desafios a concretização de trabalhos que foram sendo realizados ao abrigo de uma ambição e exigência cada vez maiores. Muitas destas descobertas, porém, foram de tal forma fundamentais que houve processos e aplicações que permaneceram atuais durante milénios, embora sofrendo algumas adaptações e melhoramentos que a evolução social recomendou.

A roda foi das aplicações mais antigas e das mais impactantes. Contrariamente a muitas outras invenções, não se inspirou em nenhuma manifestação natural, sendo totalmente concebida pelo Homem. Foi revelada em representações pictográficas sumérias na Mesopotâmia, em 3500 a.C., tendo também sido encontrada em Ljubljana, Eslovénia, uma roda em madeira datada sensivelmente do mesmo período. Admite-se que a invenção da roda possa estar relacionada com a prática da olaria (Figura 3).

<sup>2</sup> Esta estação pré-histórica de Montes Claros onde foi identificada a provável ocorrência de três ocupações principais sucessivas: Neolítico final, Calcolítico final / Bronze inicial e Bronze final. CARDOSO, J. L.; CARREIRA, J. R. (1995) - O povoado pré-histórico de Montes Claros (Lisboa): resultados das escavações de 1988. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. V. 5. Disponível na Internet: <https://eao.cm-oeiras.pt/index.php/DOC/article/view/11>

<sup>3</sup> O método *tentativa e erro* pressupõe que a aprendizagem se realize com base em insucessos. O método das etapas progressivas pressupõe que as novas tentativas sejam feitas a partir de pequenas variações nas características das experiências de sucesso e da avaliação o seu comportamento; embora neste caso o insucesso possa ocorrer, ele é meramente accidental.





**Figura 3** Olaria em Porches (Beja) com destaque para as rodas em madeira<sup>4</sup>, [198-].  
AML, PT/AMLSB/ART/030963.



**Figura 4** Carroça de roda alta usada no transporte de pessoas e bens durante séculos, [195-].  
AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/PCSP/004/SAL/000082.

A utilização da roda veio permitir a invenção do carro de mão e do carro de tração animal. O carro como meio de transporte de pessoas surgiu cerca de 3200 a.C., na Mesopotâmia. A roda foi ainda responsável pelo funcionamento das máquinas motrizes, sejam elas alternativas ou não, empregues atualmente em milhões de aplicações em todo o mundo. Sem a roda a civilização evoluiria de forma diferente (Figura 4)<sup>5</sup>.

Outro material primordial e fundamental na história da civilização humana é a madeira. Os toros de madeira flutuantes inspiraram a construção de jangadas que antecederam a invenção das embarcações. Há indicações de que as jangadas contribuíram para a deslocação de comunidades ainda em estado primitivo, que povoaram territórios isolados pela água, especialmente nas ilhas da Oceânia (Leakey, 1989, p. 63). As embarcações foram muito utilizadas na zona do Crescente Fértil onde os rios que irrigavam os campos serviam de meio de circulação, tendo, por outro lado, sido um veículo importante para a atividade da pesca. Objeto de aperfeiçoamentos sucessivos, as embarcações permitiram aos fenícios percorrer, entre os séculos IX e VI a.C., o mar Mediterrâneo e passar o estreito de Gibraltar. Foram convertidas num importante meio de deslocação com capacidade de transporte e garantias de segurança, constituindo um modo de disseminação de produtos, populações e culturas. Por outro lado, também no domínio do religioso as embarcações tiveram um papel simbólico. A este respeito, os egípcios fizeram, no Livro dos Mortos, frequentes referências a embarcações utilizadas na viagem para a eternidade desde as primeiras dinastias (Figura 5)<sup>6</sup>. A vela e o remo completaram o equipamento deste meio de transporte e foram as únicas motrizes durante séculos.

<sup>4</sup> Fundada em 1962 pelo artista Irlandês Patrick Swift que descobriu, no Algarve, “uma forma de vida que pouco tinha mudado desde a Idade Média” (ver <https://www.porchespottery.com/pt/about-us>).

<sup>5</sup> A relevância do uso da roda pode ser testemunhada por diversos documentos à guarda dos arquivos, ao longo dos tempos. Ver, por exemplo, o Edital da Câmara Municipal de Lisboa que publicitou, em 10 de agosto 1866, a Postura que regulamentava o trânsito de veículos de rodas no passeio público do Rossio.

<sup>6</sup> Descoberta, em 1954, perto da grande pirâmide Kheops, esta barca funerária teria sido destinada à viagem além-túmulo deste faraó (2569 a 2566 a.C.).



**Figura 5** Barca funerária do Sol, século XXVI a.C., atualmente no Grande Museu Egípcio, Gizé. Fotografia do autor, 2010.

Houve períodos em que as condições atmosféricas experimentaram situações extremas. Temperaturas baixas exigiam proteção e tanto as peles de animais como as fibras vegetais foram adaptações essenciais para a sobrevivência. A utilização das peles de animais constituiu a transposição para o corpo humano de um instrumento natural de isolamento e as fibras foram uma invenção útil quer para a produção de tecidos como de cordas<sup>7</sup>. A agulha foi então a ferramenta necessária para proceder à reunião de várias peças para compor o vestuário. A Múmia do Gelo<sup>8</sup>, com 5300 anos, encontrada em 19 de setembro de 1991 num glaciar junto da fronteira da Áustria com a Itália e que hoje está exposta no Museu de Arqueologia do Alto Adige, Bolzano em Itália, apresenta um vestuário constituído por peles de animais e fibras vegetais, num contexto duplo de proteção contra o frio e adaptação a grandes deslocações. Para além de um machado de lâmina de cobre, uma faca de sílex, uma aljava cheia de flechas e um arco longo, tinha consigo restos de plantas e uma pedra que se supõe ter sido para gerar fogo (Figura 10). Bastante mais tarde surgia o tear como forma eficaz de fabricar tecidos a partir de fios produzidos pelo método de fiação de fibras previamente tratadas (Figuras 6, 7, 8 e 9). Estas atividades, sofrendo embora algumas melhorias nos tempos modernos, permanecem, no essencial, idênticas às realizadas alguns séculos atrás.

A construção de abrigos para proteção das condições atmosféricas assim como das inconvenientes visitas de predadores correspondeu ao período de sedentarização, levando à fixação de comunidades em lugares escolhidos pela proximidade a fontes de água potável, boas condições de defesa (Zpyszewski et al., 1995, p. 22) e zonas de abastecimento de alimentos. Inicialmente construções toscas de pedra solta e tetos de colmo<sup>9</sup>, transformaram-se

<sup>7</sup> É interessante constatar que, pelo menos desde o século XV o Município de Lisboa regulamentava sobre a feitura das cordas, dos nagalhos de linhas e dos cordões. Veja, como exemplo, AML, Chancelaria da Cidade, Livro de posturas antigas, doc. 174, f. 46, PT/AMLSB/CMLSBAH/CHC/001/0319/0174.

<sup>8</sup> Também designada por Otzi por ter sido encontrada no vale com o mesmo nome.

<sup>9</sup> Em Portugal é possível visitar três exemplos de estruturas habitacionais castrejas reconstituídas pela Câmara Municipal de Póvoa do Lanhoso em 2001.



**Figura 6** Fiação. [194- e 1970]. AML, PT/AMLSB/ART/050623.



**Figura 7** Penteação do fio. [195- e 196-]. AML, PT/AMLSB/ART/004432.



**Figura 8** Tear artesanal semelhante aos que foram utilizados na antiguidade. 1957-09. AML, PT/AMLSB/ART/008863.



**Figura 9** Tintura de tecidos. [19-]. AML, PT/AMLSB/CMLSAH/PCSP/004/LIM/002922.





**Figura 10** Ponta lítica em sílex destinada a equipar uma lança ou dardo, podendo também ser usada como faca. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/PCSP/004/LSM/000668.

progressivamente em edifícios sólidos e, alguns deles, elevados sobre áreas lacustres que beneficiavam de maior proteção, não só contra animais selvagens, mas também contra o ataque de outros homens.

A sedentarização, ocasionada pela descoberta da agricultura e da pecuária, foi a causa da construção de habitações permanentes: o cultivo de plantas e a domesticação dos animais como meio de obter o sustento perto da habitação tornava a existência mais fácil e possibilitava a criação de condições para variar a dieta. Surgiu a manufatura das peças de cerâmica destinada a acondicionar e armazenar os alimentos e a permitir o seu transporte, especialmente por via marítima. O artesanato de cestaria de vime acompanhou a necessidade de desenvolvimento de objetos para utilização doméstica (Figura 11). Por outro lado, o arado tornou-se uma ferramenta indispensável para o trabalho do campo e a sua utilização deve ter principiado nas zonas onde se introduziu a agricultura. Os primeiros arados seriam provavelmente construídos em madeira. As técnicas de regadio acompanharam o desenvolvimento do trabalho do campo e a construção de aquedutos foi importante para a distribuição de água<sup>10</sup>, como demonstram diversos registos escritos e preservados ao longo do tempo.

Nas antigas civilizações também se desenvolveram máquinas que deram uma contribuição importante para o trabalho do coletivo: desde as mais simples, como o arco e a picota, até às de maior complexidade, como os moinhos de vento e de água (Figura 12), movidos por energias renováveis que ajudavam à produção de farinha; as azenhas vieram a ter um papel importante na indústria têxtil e em outras atividades, como na produção de pólvora<sup>11</sup>. Mais recentemente, nos Países Baixos, também a energia do vento foi largamente utilizada para drenar a água dos terrenos que foram sendo conquistados ao mar<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> A este propósito, e como exemplo, ver o *Livro de memória sobre o Aqueduto Geral de Lisboa, pelo major José Carlos Conrado Chelmik*. Contém informação sobre os aquedutos, em Lisboa, do Olival do Santíssimo, do Poço da Bomba, do Vale de Moura, dos Carvalheiros, do Salgueiro ou de D. Maria, dos ex-Marianos ou da Zebreira, da Câmara, da Quintã, da Mãe de Água Nova, da Mãe de Água Velha, da Fonte Santa, do Almarjão, dos Marianos, da Rascoeira, de São Brás, das Galegas, do Outeiro, da Buraca, da linha do Campo de Santana, da linha das Necessidades, da linha da Esperança, da linha do Loreto; e sobre chafarizes, bicas, cisternas, poços, estabelecimentos públicos e particulares. Contém mapa indicando a medição das nascentes públicas e particulares do aqueduto das Águas Livres. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/AGL/005/03.

<sup>11</sup> Para a motorização dos moinhos que trituravam e misturavam os componentes.

<sup>12</sup> Em Lisboa, por exemplo, ainda em finais do século XIX, havia propostas para a instalação de moinhos de vento para abastecimento de água no mercado da Ribeira Nova. Ver AML, PT/AMLSB/CMLSB/UROB-PU/06/0160 e AML, PT/AMLSB/CMLSB/UROB-PU/06-01/0226, parecer 697, de 02-04-1880 e 18-02-1880 a 31-03-1880, respetivamente.



**Figura 11** Fabrico de cestos perpetuando uma arte com 10000 anos de existência, 1922-1999. AML, PT/AMLSB/ART/004357.



**Figura 12** Moinho de maré junto ao largo do Moinho Pequeno<sup>13</sup>, Barreiro. AML, PT/AMLSB/CMLSBAB/PCSP/004/ARM/002626.

A escrita surgiu como forma de apoiar a gestão de bens e territórios, tendo constituído um marco civilizacional decisivo, permitindo registar acontecimentos, atividades e pensamentos<sup>14</sup>. Como suporte da escrita foram utilizados muitos materiais que se revelaram de grande durabilidade e que chegaram até ao presente. É o caso das folhas de papiro no Egito, das barras de argila na região da antiga Mesopotâmia ou ainda do pergaminho na Europa medieval (Figura 13). Mais tarde, surgiu o papel e, depois deste, a impressão. Enquanto o livro manuscrito era um processo manual do qual se produziam apenas algumas cópias, ficando acessíveis a uns tantos privilegiados, o livro impresso, reproduzido em maiores quantidades e mais rapidamente, permitiu o acesso a um grupo mais alargado, possibilitando, posteriormente, a difusão do conhecimento pela comunidade.

Uma sociedade organizada tem de ter programadas as suas atividades. Essa programação levou à necessidade de controlar o tempo. As atividades passaram a ser regulamentadas e a contagem do tempo obrigatória. Surgiram então os relógios de sol, as clepsidras, as ampulhetas e, finalmente, o relógio mecânico.

Um grande salto no conhecimento deu-se quando deixou de se considerar heresia perscrutar a realidade isentando a observação objetiva de ideias pré-concebidas. Foi a luneta astronómica que permitiu a Galileu a descoberta de quatro satélites de Júpiter e dos anéis de Saturno e que o levou a apresentar um novo modelo para o sistema solar.

<sup>13</sup> São conhecidas descrições de moinhos movidos a água no século III a.C. construídos pelos gregos e de moinhos de vento entre os séculos VI e X construídos pelos Persas.

<sup>14</sup> Mesopotâmia (ca 3500 a.C.), Egito (ca 3000 a.C.), Vale do Indo (ca 2500 a.C.) e China (ca 1400 a.C.).





Figura 13 Exemplo de um pergaminho, com a confirmação por D. Afonso II, em 30 de março de 1214, do foral de Lisboa concedido por D. Afonso Henriques em 1179 e privilégios outorgados por D. Sancho I em 1204<sup>15</sup>. AML, PT/AMLSB/CMSBAH/CHR/005/001/0003.

A abordagem aleatória dos fenómenos (que ocupou os alquimistas durante séculos) foi transformada no século XVIII com a intervenção de alguns químicos pioneiros, tais como John Dalton, Jeremias Benjamim Richter, Joseph Priestley e Antoine Lavoisier que iniciaram um trajeto de investigação metódica que não voltaria a ser interrompido.

No final do século XVII, Isaac Newton (Figura 14) conseguiu justificar matematicamente o modelo de Galileu: já não era só a observação que permitia adquirir conhecimentos. Para além dela, a formalização das leis naturais

<sup>15</sup> Estes privilégios seguem-se aos descritos na carta de foral de 1111, concedido à cidade pelo conde D. Henrique. Neste documento estavam registados os direitos de cidadania conjuntamente com as obrigações dos cidadãos relativamente à coroa. (Caetano, 1990, p. 9).



**Figura 14** Busto de Isaac Newton, Academia de Ciências de Lisboa. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/PCSP/004/AND/000069.

permitiu construir algoritmos que se ajustavam aos fenómenos naturais e possibilitavam antever efeitos e comportamentos.

O conhecimento passou a ser agrupado em disciplinas e cada matéria adquiriu uma abordagem própria que se foi desenvolvendo independentemente, até ao século XIX, como a Astronomia, a Medicina, a Arquitetura, a Engenharia, a Matemática, a Física, a Química, a Geografia, entre outras.

O saber estruturado (que passou a ser o novo paradigma) foi teorizado por Descartes nesse mesmo século XVIII, altura em que a Matemática se tornou uma ferramenta imprescindível para a modelação científica e iniciou a sua consolidação com o desenvolvimento do cálculo. Só a partir de então os ensaios, cujo sucesso era a maior parte das vezes imprevisível, se converteram numa atividade realizada com pragmatismo, conferindo-lhes muito mais segurança e uma garantia de sucesso acrescida. Daqui em diante a atividade científica não deixou de progredir a um ritmo crescente.

Verifica-se claramente uma aceleração do ritmo de descobertas sendo hoje difícil avaliar o progresso futuro. No suporte de todas estas descobertas os materiais tiveram um papel fundamental, pois exigiram aplicações e transformações aperfeiçoadas ao longo de séculos.

Um passeio pelo campo permite-nos identificar a variedade de materiais que existe no ambiente prontos a serem recolhidos, tarefa que o Homem iniciou há muitos milhares de anos, utilizando-os em proveito próprio: as pedras primeiro, a madeira e as fibras vegetais depois, as peles curtidas e os ossos dos animais abatidos, a seguir, e os minérios, posteriormente. A sua colheita nem sempre é direta: a extração e transformação dos materiais carece de ferramentas apropriadas. As pedras constituíram os primeiros utensílios e, para as transformar, foram usadas ferramentas do mesmo tipo: as próprias pedras.

Surgiram em sequência os períodos da pedra lascada e da pedra polida em que os materiais eram trabalhados para alteração da sua forma a fim de os adequar à função pretendida com crescente perfeição. Seguiu-se o período dos metais, um dos catalisadores do desenvolvimento da civilização, em que o Homem descobriu múltiplas



**Figura 15** Utilização do ouro na cunhagem de moeda visigótica (418 a 711 a.C.). AML, PT/AMLSB/CMLS-BAH/PCSP/004/MNV/000126.

possibilidades de aplicação: os primeiros a serem recolhidos foram o ouro (Figura 15), a prata e o cobre que apareciam no estado nativo<sup>16</sup>.

A importância dos materiais na História é tão assinalável que na cronologia da civilização humana, as primeiras Idades, são denominadas de acordo com o nome dos materiais cujo processamento iniciaram: idades da pedra, do bronze, do ferro.

As dificuldades de sobrevivência estimularam a inteligência criadora dos humanos que gradualmente procederam a uma sucessão de atividades transformadoras: o recurso à pedra para fabrico de ferramentas de corte e raspagem; a utilização de fibras vegetais para o fabrico de tecidos e o fabrico de cordas; a descoberta da olaria com aplicação na cerâmica doméstica e tijolos de construção; a curtimenta de peles para utilização no vestuário e tendas primitivas; o osso para o fabrico de agulhas e utensílios domésticos; o tear para o fabrico de agasalhos.

O fabrico de utensílios para a caça foi uma prioridade para o caçador recolector pelo que estimulou a sua perícia e levou-o a fabricar pontas de seta e de lança de pedra que entalava cuidadosamente no extremo de uma vara de madeira, devidamente desempenada, um arco feito em madeira flexível e dotado de uma corda forte, machados de pedra ou cobre onde a lâmina era amarrada a um cabo com fibras vegetais.

Os metais apresentavam características muito apelativas, quer no que diz respeito à sua aparência, quer no aspeto da sua resistência e, se alguns eram próprios para o fabrico de objetos de adorno, outros eram resistentes e adequados para o fabrico de armas (Figura 16). Surgiu a metalurgia e com ela o desenvolvimento de novas ferramentas, objetos utilitários e, sobretudo, equipamento de ataque e defesa. A metalurgia nasceu após a descoberta do bronze como resultado da liga entre o cobre, o estanho e o arsénio. A evolução do conhecimento possibilitou a exploração do ferro, cuja produção ainda hoje constitui uma das áreas mais importantes da economia mundial.

Tão importante como a descoberta dos materiais é a sua aplicação. Os materiais só foram aplicados, tal como surgiam na natureza, pelas primeiras comunidades humanas que improvisavam ferramentas no momento em

<sup>16</sup> A utilização dos metais nas moedas foi de tal modo relevante que vem registada em muita e diversa documentação, ao longo do tempo. Veja-se, como exemplo o documento de Filipe III para que a Câmara de Lisboa procedesse à cunhagem de moeda de cobre com o rendimento proveniente do real-da-água. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/CHR/010/0002/0059; e o aviso do rei ao Senado da Câmara, de 27 de maio de 1771, para passar as ordens necessárias para que os nove barris de cobre, chegados de Hamburgo, fossem remetidos à Alfândega por serem necessários na Casa da Moeda. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/CHR/010/0088/0052. Ver também o pedido de D. Duarte para que a Câmara de Lisboa emita parecer com a finalidade de evitar que os mercadores estrangeiros façam sair do reino ouro e prata sem o conhecimento das autoridades portuguesas. AML, PT/AMLSB/CMLSBAH/CHR/005/007/014.





**Figura 16** Espada de D. Afonso Henriques, montante de D. Nuno Álvares Pereira e montante de D. João I em aço (temperado?).  
AML, PT/AMLSB/CMLSB/PCSP/004/MNV/000422.

que eram necessárias. Com a evolução do conhecimento passou a ser possível a separação das misturas nos seus componentes e dos compostos nos seus elementos iniciando-se, então, a composição de novos materiais em utensílios e produtos que permitiram à Humanidade alcançar uma capacidade transformadora a nível global.

Mas o progresso conseguido pelo Homem na descoberta e utilização dos materiais não é simultâneo em todos os pontos do globo. O recurso aos meios naturais processou-se em diferentes locais e períodos, pelo que não há dados muito rigorosos sobre a forma como o Homem foi adquirindo o saber para usar os materiais em seu benefício: é conhecido o avanço das civilizações do Médio Oriente sobre as populações que povoavam o ocidente europeu até ao fim do 1º milénio a.C., o que ainda se prolongou por muitos séculos. No Quadro 1 apresentam-se exemplos de desenvolvimento de civilizações, o local de origem e o tempo de duração.

### QUADRO 1

#### CIVILIZAÇÕES PRECURSORAS NO USO DOS METAIS

LOCAL	CIVILIZAÇÕES PRECURSORAS	DURAÇÃO TEMPORAL
<b>Egito</b>	1ª dinastia	ca 3500 a 3100 a.C.
<b>Mesopotâmia</b>	Sumérios - 1ª dinastia de Uruk	ca 2700 a 2550 a.C.
<b>Índia</b>	Vale do Indo	ca 2600 a 1700 a.C.
<b>Creta</b>	Cultura Minoica	ca 1900 a 1450
<b>Anatólia</b>	Hititas - Reino Antigo	ca 1650 a 1150 a.C.
<b>Grécia</b>	Cultura Micénica	ca 1600 a 1150 a.C.
<b>Palestina</b>	Israel – período da unificação	Séc. XI e X a.C.
<b>Itália</b>	Etruscos	Séc. VIII a Séc. III a.C.
<b>China</b>	Dinastia Qin – 1ª unificação	770 a 206 a.C.
<b>Germania</b>	Celtas	ca 500 a.C. a 650 d.C.

Fonte: (Reardon, 2011)

Uma das manifestações naturais que mais deve ter impressionado o homem primitivo foi o fogo, que por vezes devastava de forma dramática florestas aniquilando parte da vida selvagem que as habitava. Muito provavelmente, os primeiros homens foram também vítimas ocasionais deste processo, mas devem ter aprendido a lidar com ele conseguindo encontrar refúgios protetores.

O domínio do fogo foi uma etapa fundamental que permitiu criar todo um conjunto de novas tecnologias. Este deve ter sido uma das mais antigas conquistas da Humanidade, no entanto, o controlo do fogo não é uma atividade fácil e exigiu muito tempo de aperfeiçoamento, especialmente para se conseguir atingir e manter a temperatura necessária para cada um dos processos onde um tal controlo se mostrou necessário. A temperatura conseguida com um determinado combustível está relacionada com as características do próprio combustível<sup>17</sup>, a quantidade de ar presente para a combustão e as condições ambientais em que se dá a combustão. No Quadro 2 apresentam-se os dados do poder calorífico de alguns combustíveis.

### QUADRO 2

#### PODER CALORÍFICO DE ALGUNS COMBUSTÍVEIS

Combustível	Poder calorífico
Madeira	3500 kcal/kg
Gás natural	5000 kcal/kg
Carvão Mineral	7000 kcal/Kg
Carvão vegetal	7200 kcal/Kg
Coque	7500 kcal/kg
Gás Óleo	10000 kcal/Kg
Butano/Propano	11000 kcal/kg

Para cada combustível existe uma condição teórica denominada estequiométrica em que a quantidade de ar é a necessária e suficiente para a combustão e que, teoricamente, conduz à máxima temperatura de queima. É para

<sup>17</sup> Característica conhecida como *poder calorífico*.

facilitar o acesso do ar ao combustível que habitualmente existe uma alimentação sob o combustível (o ar primário) e uma alimentação ao nível da combustão (o ar secundário) que facilitam uma queima mais completa. A madeira foi o combustível mais frequente no passado e, quando colhida, possui bastante humidade, o que influencia o seu poder calorífico que é tanto maior quanto mais seca a madeira estiver. A madeira seca tem habitualmente um valor igual ou inferior a 20% de humidade (Quadro 3). Uma grande percentagem de humidade na madeira reduz o poder calorífico deste combustível que é um fator importante no alcance de temperaturas altas.

**QUADRO 3**  
**CONSUMO DE MADEIRA EM FUNÇÃO DA HUMIDADE**

HUMIDADE	PODER CALORIFICO mKcal/kg	CONSUMO P/ 10 <sup>6</sup> kcal	AUMENTO CONSUMO
10%	3 500	290 kg	
20%	3 000	340 kg	17%
30%	2600	390 kg	34%
40%	2200	460 kg	59%
50%	1700	600 kg	107%
60%	1 250	800 kg	176%

Para calibrar a quantidade de ar presente é necessário haver uma cobertura da zona de combustão onde a saída dos gases é devidamente controlada. A saída dos gases quentes, resultantes da combustão, arrasta o ar renovado: quanto maior facilidade tiverem os gases de escapar, maior quantidade de ar renovado é arrastado para a combustão e maior será o efeito na temperatura atingida.

Outra condição, não menos importante, é a que diz respeito ao ambiente em que se dá a combustão: o isolamento do ambiente de queima é muito condicionante do valor da temperatura atingida (ver Quadro 4 onde se apresenta a temperatura média de funcionamento de diversos equipamentos). O ambiente em que se dá a queima tem de ser cuidadosamente estudado para satisfazer as características exigidas por um determinado processo. A forma da fornalha, os materiais de que é revestido e o sistema de alimentação do combustível são aspetos que têm de ser avaliados consoante o objetivo da queima.

**QUADRO 4**  
**TEMPERATURA MÉDIA DE FUNCIONAMENTO DE DIVERSOS EQUIPAMENTOS**

FONTE DE CALOR	CONDIÇÕES	°C
Fogueira campestre	Função do vento e tipo de madeira	300 a 400
Forno de padaria	Em temperatura estabilizada	370 a 400
Lareira doméstica	Função da tiragem e do tipo de madeira	260 a 500
Chama de gás	Em fogão doméstico com excesso de ar	1 000
Alto forno de aciaria	A funcionar com ar previamente aquecido	1500 a 1650
Feixe de raios laser	Dependente da potência	500 a 3000
Núcleo solar	Com elevadíssimas pressões	15 000 000
Explosão atómica	Nos segundos imediatos à explosão	20 000 000
Fusão nuclear	Reação <sup>18</sup>	150 000 000

<sup>18</sup> Está em construção o Reator Experimental Termonuclear Internacional – (ITER) que deverá ser concluído até 2025.



Para a metalurgia, como se pode ver adiante, são necessárias temperaturas muito mais elevadas que as poucas centenas de graus alcançáveis com a madeira. Houve, assim, necessidade de encontrar outro combustível com um poder calorífico superior, tendo surgido o carvão como alternativa com um poder calorífico duplo da madeira: cerca de 7000 kcal/kg.

Com o progresso da ciência, o nível de temperaturas conseguido é cada vez mais elevado tornando possível a sua utilização em um maior número de aplicações industriais. As fogueiras ao ar livre foram as primeiras aplicações do fogo utilizadas pelo Homem primitivo, quer para aquecimento no interior dos abrigos, quer na preparação dos alimentos. O fogo trouxe ainda a possibilidade de cozer o barro, dando início a uma indústria que viria a ter uma enorme expansão, na medida em que ela constituía um meio fácil e barato de construir recipientes tão necessários e que se tornaram objetos de utilização generalizada.

O acendimento do fogo foi, durante muito tempo, conseguido com o auxílio de pederneiras que, por fricção, lançavam faíscas sobre matérias combustíveis de fácil ignição (palha por exemplo). Atendida num ponto, uma temperatura suficientemente alta, é possível transmitir a combustão ao restante material que, no início, deve queimar preferencialmente com uma chama a fim de, mais rapidamente, se atingir o ponto de autoignição do combustível.

No caso da madeira, para que a chama da combustão seja mantida é necessário que o aquecimento gerado liberte os vapores dos componentes orgânicos que a constituem e cuja queima vai manter o aquecimento. A queima nem sempre se dá com chama, muito especialmente na fase final do processo quando todos os vapores orgânicos já foram libertados e a combustão continua com a presença de brasas.

Existiram outros processos utilizados pelas civilizações pré-históricas para iniciar a ignição, como rodar uma haste de madeira com grande velocidade sobre uma base (também de madeira) que, por atrito, permitia elevar a temperatura até ser transmitida a um combustível próximo. Após o esgotamento do combustível queimado eram mantidas e alimentadas algumas brasas que eram utilizadas para voltar a acender o combustível quando necessário.

Os metais, cuja descoberta pode ter sido induzida pelo brilho que irradiam alguns minerais que lhes estão associados, constituiu um enorme avanço civilizacional uma vez que os detentores da tecnologia da produção do bronze, e depois do ferro, tiraram enormes vantagens com a sua utilização. Curiosamente, a grande expansão da sua utilização só aconteceu muito tempo depois das primeiras civilizações os terem começado a produzir e a transformar, com objetivos essencialmente ornamentais (Derry e Williams, 1993, p. 121). O cobre, o ouro e a prata, que surgem no seu estado natural, foram inicialmente usados no fabrico de adornos e peças decorativas. No entanto, o esgotamento rápido dos metais neste estado encaminhou o homem para a necessidade de avançar para a exploração mineira, obrigando-o a ter precauções adequadas para conseguir tornar respirável o ar no interior de extensas galerias, construídas para a extração. O progresso no interior das minas fazia-se deixando colunas de material no meio das galerias a fim de suportar o teto (Figura 17).

Os metais eram fundidos e depois lançados diretamente nos moldes. Na zona da antiga Ugarit, na Síria, foi encontrado um molde junto da respetiva peça manufaturada ca 1300 a.C. (Derry and Williams, 1993, p. 119), mas, normalmente, a fundição fazia-se em duas fases: na primeira, obtinha-se o metal em bruto para separação da escória e, na segunda, o metal era novamente fundido para ser vazado em moldes para obtenção dos objetos pretendidos.

Os metais, como todos os materiais, deformam-se quando lhes é aplicado um sistema de forças. Esta propriedade é geral, assim como o número de fases por que passa a deformação até à rotura. Numa primeira fase, a deformação é recuperável se o sistema de forças não ultrapassar um determinado valor<sup>19</sup>; havendo suspensão na aplica-

<sup>19</sup> Denominado limite elástico.



**Figura 17** Estrutura de madeira para apoio a trabalhos mineiros. AML, PT/AMLSB/ANI/000146.

ção das forças o material retoma a sua forma primitiva, denominando-se esta fase de deformação elástica. Se a intensidade das forças ultrapassar o limite elástico, a recuperação é só conseguida parcialmente. Se a intensidade das forças for aumentando sempre, haverá um momento em que se atinge o ponto de rotura e o material rompe.

Uma das propriedades que torna o uso dos metais muito apelativo é a sua ductilidade, ou seja, a deformação que o material suporta até à rotura. Se por um lado uma grande ductilidade facilita a enformação dos objetos, por outro, quando esses objetos se pretendem resistentes, como é o caso das armas, uma grande ductilidade é obviamente inconveniente, pois que as armas se tornariam pouco rígidas em combate sendo facilmente neutralizadas pelo inimigo. Em contraponto com a ductilidade, a fragilidade caracteriza a facilidade de rotura com uma reduzida deformação. Os materiais frágeis podem ser resistentes a cargas elevadas, mas assim que atingem o limite plástico partem. É o caso do ferro fundido: a fragilidade, ao contrário da ductilidade, tem a particularidade de absorver relativamente pouca energia para atingir a rotura.

Outras características importantes na utilização dos metais é a resistência ao choque e a resistência superficial, também designada dureza, que pode ser aumentada com a infiltração de um elemento endurecedor ou proceder a um tratamento mecânico ou térmico. Os materiais destinados ao fabrico de armas brancas têm, não só, de ser resistentes ao choque, como aguentarem golpes violentos sem atingir a rotura.

Os tratamentos superficiais do ferro eram há muito conhecidos, pois, já na antiguidade, os ferreiros descobriram que o ferro podia ser tratado para aumentar significativamente a sua resistência, não só com o controlo do carbono, mas também por processos térmicos: a têmpera do aço foi uma descoberta importantíssima neste contexto. Consiste em aquecer o ferro até temperaturas que o torna incandescente e arrefecê-lo bruscamente, eventualmente com a imersão em água. Os próprios gregos já conheciam a têmpera do aço no tempo de Homero<sup>20</sup>, pois há uma referência a este processo feita na *Odisseia*, no século X a.C. (Reardon, 2011, p. 81).

Como se observa no Quadro 5, a temperatura de fusão está relacionada com a ductilidade através do limite de elasticidade: os materiais de menor temperatura de fusão são aqueles que têm um menor limite de elasticidade. Por essa razão, a ductilidade aumenta, mas a resistência diminui. Assim, quanto mais resistente é o material, mais exigentes se tornam as suas condições de produção.

**QUADRO 5**  
**PROPRIEDADES FÍSICAS DE ALGUNS METAIS**

METAIS E LIGAS METÁLICAS	Temperatura de fusão (° C)	Densidade relativa	Limite de elasticidade (Mpa) <sup>21</sup>
Chumbo	327	11,3	4,4
Cobre	1084	8,95	30
Estanho	232	7,29	9
Ouro	1064	19,36	40
Ferro puro	1535	7,85	50
Aço	1450	7,85	350
Ferro fundido	1260	7,0	70 - 420
Ferro de construção	1540	7,7	200
Zinco	419	7,1	15
Prata	961	10,57	50
Bronze	950	8,6	125

No retorno aos lugares por onde o fogo tinha grassado na floresta, os homens observaram que, devido às elevadas temperaturas, bolsas de metal no estado nativo tinham escorrido da pedra *mater* onde estavam incrustadas. Esta situação pode ter introduzido, nas comunidades, a ideia de extrair os metais pelo calor, embora exigindo temperaturas muito elevadas.

A fusão é um dos processos mais usados para separação do metal das impurezas a que está ligado, exigindo para o ferro uma temperatura bastante superior à necessária para o cobre. Uma das técnicas era reduzir o mineral a pó para depois o fundir, dando-se a separação por variação de densidade.

O cobre, inicialmente colhido no estado puro, começou a ser fundido entre 5000 a.C. e 3000 a.C. de acordo com as possibilidades que os progressos técnicos permitiam. De princípio aplicado em adornos, rapidamente os homens perceberam que, se fosse forjado, adquiria uma resistência que permitia a sua utilização em ferramentas, embora fosse demasiado macio para ser usado no fabrico de armas.

<sup>20</sup> Depois do aquecimento do metal até à fase de austenite o arrefecimento brusco visa obter a estrutura martensítica.

<sup>21</sup> Mpa é a abreviatura da unidade de pressão Mega Pascal. Pascal é a pressão exercida pela força de um Newton por metro quadrado. Um kgf/cm<sup>2</sup> é sensivelmente igual a 0,1 Mpa.



Os povos que primeiro produziram e processaram os metais obtiveram benefícios vários, pois promoveram o desenvolvimento de tecnologias complexas, que exigiam a criação de fornos que atingissem altas temperaturas e o domínio de processos de purificação elaborados e técnicas de fundição muito sensíveis e delicadas. Os hititas conseguiram, mercê do domínio do ferro, estender os seus domínios, desde a Palestina até ao rio Eufrates, a meio do segundo milénio antes de Cristo.

O processamento dos metais manteve uma procura crescente, mesmo para além dos artefactos de guerra: o chumbo passou a ser utilizado em encanamentos, no tempo do império Romano, e no revestimento de coberturas, situação que em Inglaterra passou a ser obrigatória em 1212 como precaução contra incêndios (Derry and Williams, 1993, p. 176). O cobre também foi utilizado no revestimento de coberturas. Na antiguidade, a construção de carros de tração animal, fossem veículos de guerra ou de transporte, aplicava o metal nas rodas e eixos. A utilização de pregos de ferro para a construção naval foi identificada junto dos vikings, a par de pernos de madeira, no fim do primeiro milénio. No Quadro 6 apresentam-se as datas e locais onde foram identificados alguns objetos de metal (Reardon, 2011, p. 74):

**QUADRO 6**  
**ALGUNS MARCOS NA DESCOBERTA E UTILIZAÇÃO DOS METAIS**

DATA	ATIVIDADES LIGADAS AO TRABALHO DOS METAIS	LOCAL
9000 a.C.	Os primeiros objetos de cobre nativo forjado	Próximo oriente
5000 a 3000 a.C.	Primeiras experiências de fundição do cobre	Próximo oriente
3000 a 1500 a.C.	Primeiras ligas de cobre com arsénio e estanho	Próximo oriente
3000 a 2500 a.C.	Fundição em moldes com cera	Próximo oriente
2500 a.C.	Granulação do ouro e da prata e respetivas ligas	Próximo oriente
2400 – 2200 a.C.	Estátua de cobre do faraó Pepi I	Egito
2000 a.C.	Idade do Bronze	Próximo oriente
1500 a.C.	Idade do Ferro (ferro forjado)	Próximo oriente
700 – 600 a.C.	Granulação do pó de minério pelos etruscos	Itália
1200 – 1450	Introdução do ferro fundido na Europa	Desconhecido

Embora a ductilidade seja a propriedade que mais promoveu a utilização dos metais, houve que processar o metal para que adquirisse outras características que melhorassem o seu desempenho. Para alterar as propriedades dos metais é necessário ter em conta a sua constituição interna, ou seja, a forma como se organiza a malha da sua estrutura atómica. Quando um elemento químico é ligado a um metal, integra a malha cristalina sob a forma de solução sólida que adquire uma geometria própria em função da composição e da temperatura. Os metais raramente são utilizados puros pois, usualmente, tira-se proveito da melhoria das características conseguidas com a formação de ligas.

Esta situação ocorre com o bronze que constitui uma liga de cobre com o arsénio e o estanho, cujas propriedades são bastante mais interessantes que as de cada um dos metais componentes isoladamente. A associação entre estes elementos deve ter surgido de uma forma imprevista, num processo de fundição. A análise química de bronzes, no Médio Oriente antigo, mostrava a seguinte composição: 87% de cobre, 10 a 11% de estanho e o restante de outros metais como ferro, níquel arsénio e antimónio (Reardon, 2011, p. 75).

A designação do ferro, em algumas línguas, significa “pedra caída do céu”, indiciando que o primeiro aproveitamento do minério de ferro foi feito com base em meteoritos, ricos neste metal, cujo peso podia oscilar entre alguns gramas e dezenas de toneladas (Reardon, 2011, p. 77).

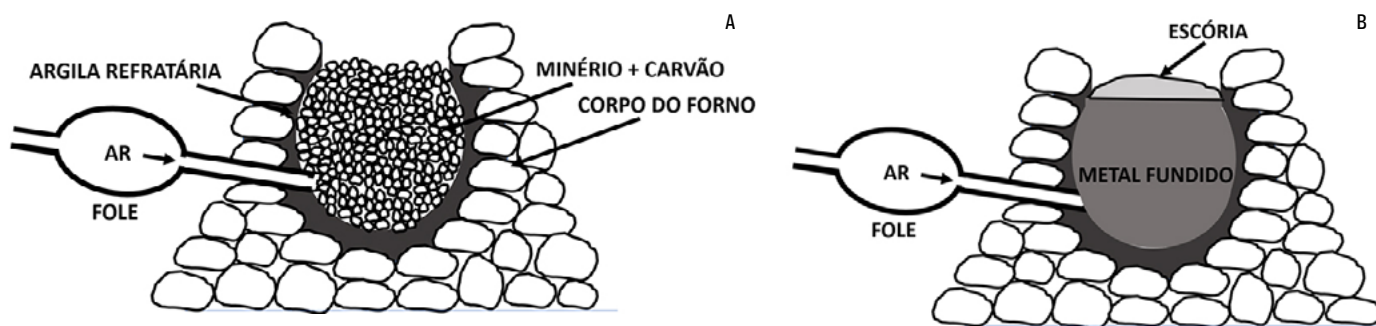
A importância que foi sendo adquirida pelo ferro estimulou a melhoria progressiva da sua tecnologia, permitindo trabalhá-lo em quantidades cada vez maiores e conferir-lhe propriedades que tornassem o seu desempenho mais eficiente. Como a temperatura de fusão do ferro é muito elevada e as variáveis para o controlo da temperatura são muitas, a produção de diferentes produtos de ferro exige uma grande dose de perícia, pois enquanto para se obter ferro fundido a temperatura de fusão se situa um pouco acima de 1200°C, o aço tem um ponto de fusão superior, cerca de 1450°C. A percentagem de carbono contida no ferro é condicionante das suas características. As ligas de aço possuem, na sua composição, uma variação no teor de carbono entre 0,1 e 2%, enquanto no ferro fundido o teor de carbono varia entre 2% e 6%. O aço é um material dúctil enquanto o ferro fundido é um material mais frágil. A dificuldade, na antiguidade, seria controlar o carbono para que a concentração fosse a pretendida, uma vez que o aço possuiu um desempenho bastante superior ao ferro fundido na produção de armas.

É uma técnica antiga misturar o minério de ferro com carvão para se atingirem no forno da aciaria as temperaturas necessárias para a fusão do metal. Mas este processo não é inócuo, pois se, por um lado, ele é mais vantajoso em termos energéticos, por outro, contamina o ferro com o carbono do carvão alterando as suas propriedades. Na Antiguidade foram construídos fornos (Figura 18) que permitiram obter temperaturas suficientemente altas e a descoberta do carvão tornou-se, assim, imprescindível para o conseguir.

Os fornos para a fusão do ferro, na Pré-História, eram muito rudimentares, o corpo era construído com pedras e revestido interiormente por um material isolante e refratário; após ser atingida a temperatura de fusão a escória fluía e obtinha-se um ferro de fraca qualidade muito rico em carbono que o tornava quebradiço, contendo ainda uma quantidade de impurezas apreciável. O ferro obtido desta forma para se tornar utilizável tinha de ser trabalhado numa forja (Figura 19), no estado incandescente, onde era martelado até expelir a escória que ainda continha para atingir um grau de pureza que o tornasse manuseável. Os hititas (1400 a.C.) trabalharam o ferro desta forma conseguindo endurece-lo enriquecendo a superfície com carbono através do contacto com o carvão da forja. Este processo, que se denomina cementação, antecedeu em cerca de dois séculos a descoberta da têmpera, técnica que já tinha sido usada com o cobre e o bronze (Derry and Williams, 1993, p. 121).

O modelo de forno para fundir ferro, utilizado desde o período de dominação romana até à idade média, era composto por uma estrutura de pedra com forma de cone invertido onde o ferro era reduzido pelo carvão e funcionava ininterruptamente (Derry and Williams, 1993, p. 78). Essas estruturas, com cerca de três metros de altura, foram aumentando em dimensão atingindo os nove metros. No século XVIII o fabrico de perfilados nas fundições era feito mecanicamente com a ajuda de energia hidráulica.

Para o fabrico de peças o ferro fundido era lançado nos moldes (previamente preparados para formar um determinado objeto) (Figura 20). O método é muito antigo e passa pela execução de um negativo da peça que era cheia de cera. Quando é introduzido o metal fundido ele derrete a cera e ocupa o interior do molde que terá de ser aberto, depois de arrefecido, para se retirar a peça.



**Figura 18** Forno primitivo para fusão do ferro. Legenda: a) Carga do forno alimentado com minério e carvão misturados por camadas; b) Depois da operação de aquecimento o metal fica no fundo e a escória sobrenada. Desenho do autor.



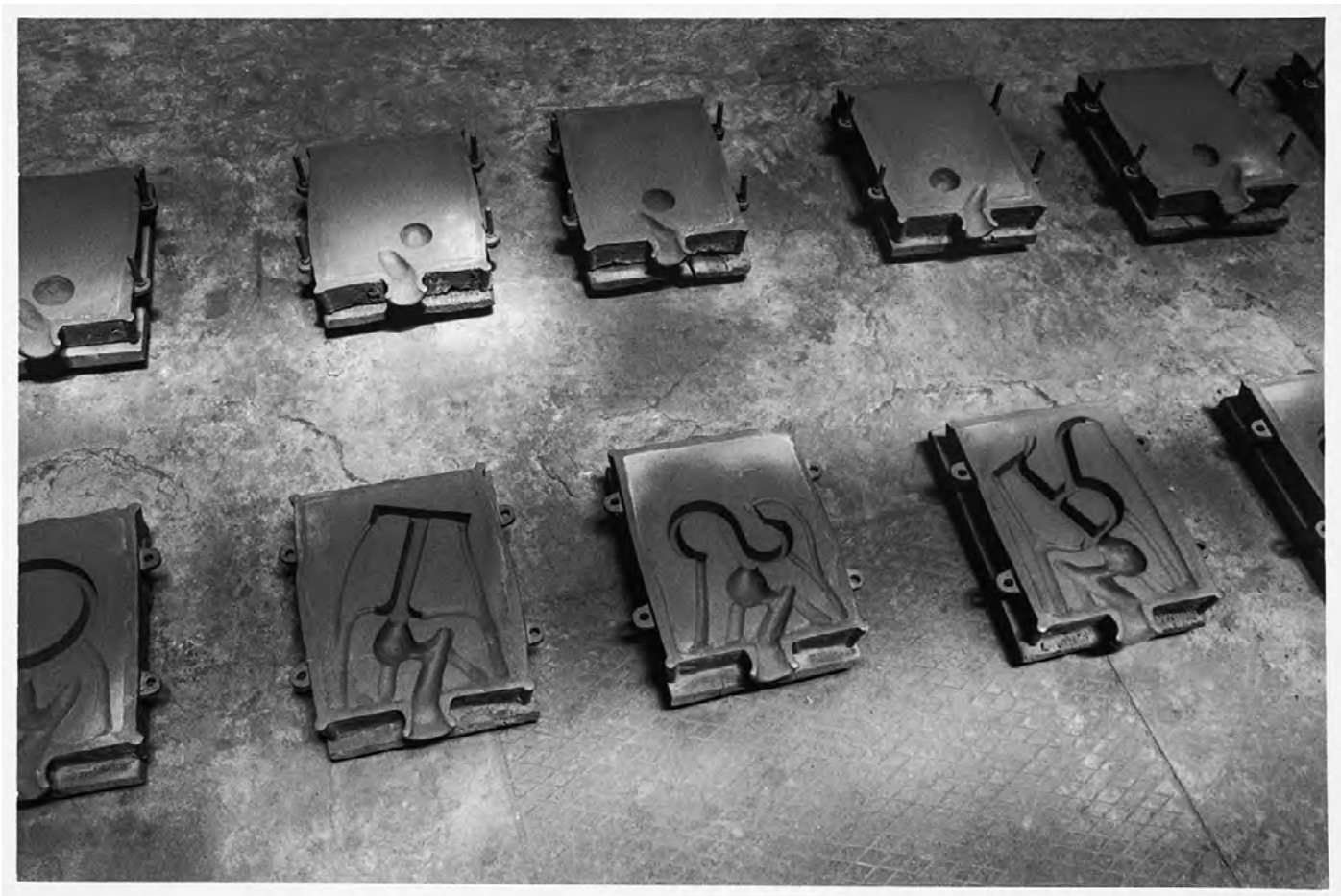
**Figura 19** Ferreiro trabalhando em forja. O trabalho de forja é tão antigo quanto a utilização do ferro e a sua operação não mudou ao longo de séculos: a fornalha e o fole no aquecimento, a bigorna e o martelo na enformação<sup>22</sup>. AML, PT/AMLSB/AMLSBAH/PCSP/004/LIM/002909.

O aperfeiçoamento dos métodos de fundição do ferro deu-se com a procura de minério com melhores características, nomeadamente com menor teor em enxofre, e com a utilização de carvão de origem mineral para o enchimento dos fornos. Em Inglaterra, no século XVIII, utilizava-se o coque, um material esponjoso derivado do aquecimento da hulha que arde sem chama e que era adicionado à carga do forno.

Para peças de grandes dimensões há que ter em atenção o escoamento dos gases quentes que escapam durante o processo, havendo necessidade de deixar, em pontos adequados da peça, uma saída para esses gases que de outra forma poderiam deformar os objetos em produção. Também a existência de vazios interiores nas peças obriga a procedimentos complexos, pelos quais é necessário centrar no interior do molde machos que ocupam o lugar dos vazios pretendidos e que têm de ser extraídos posteriormente.

A água constitui um bem essencial à vida do ser humano, daí a frequência com que se encontram estações arqueológicas junto de locais onde existe água doce. O encaminhamento dessa água, para os lugares onde ela é consumida, converteu-se numa preocupação que cresceu à medida que as populações aumentavam e que se iniciou, com meios muito elementares, com o desvio dos rios e ribeiros em valas que encaminhavam a água para os povoados e terras agrícolas como acontecia no antigo Egipto.

<sup>22</sup> Esta atividade é das mais antigas no trabalho do ferro nomeadamente para fabrico de armas.



**Figura 20** Moldes perfilados para fundição<sup>23</sup>. AML, PT/AMLSB/MAP/000048.

A captação a grandes distâncias deu origem à construção de aquedutos tendo este tipo de estruturas sido usado desde os primórdios das civilizações e atravessado diferentes épocas com a preocupação recorrente de abastecer de água as populações. Os escoamentos em superfície livre tinham de ser suportados por uma estrutura que lhes permitia manter a sua estabilidade e ser construídos em terrenos bem consolidados.

Há dois mil anos, os romanos construíam represas para confinar a água que depois era enviada por aquedutos para fontes, junto das povoações, solução que foi praticada com mestria por todo o império mostrando a sua capacidade de construir capazmente estas infraestruturas. Muitas delas encontram-se, atualmente, em boas condições de conservação e algumas ainda funcionam; até meados do século XIX, o aqueduto de Segóvia, Espanha, abastecia a cidade com água potável. Para além de terem uma experiência longa em resolver problemas de hidráulica, os romanos fizeram uma normalização de diâmetros que, para a época, representa uma capacidade de organização notável e cuja codificação tinha a ver com o escoamento assegurado por tubos sob um determinado desnível<sup>24</sup>. Marcus Vitruvius Pollio (arquiteto romano, (ca 80 a 70 – 15 a.C.) e Sextus Julius Frontinus (engenheiro e senador romano (ca 40 – 103 a.C.), cada um por si, procederam a um escalonamento de diâmetros de tubos (Hodge, 2011, p. 297).

<sup>23</sup> Tal como no passado, a utilização de moldes pressupõe a existência de uma abertura para a entrada do metal líquido e de rasgos para a saída dos gases.

<sup>24</sup> A descarga de 1 quinaria correspondia à descarga de uma veia líquida com um diâmetro de 2,31 centímetros e que funcionava com um desnível de 11,5 centímetros (Hodge, 2011, p. 295).



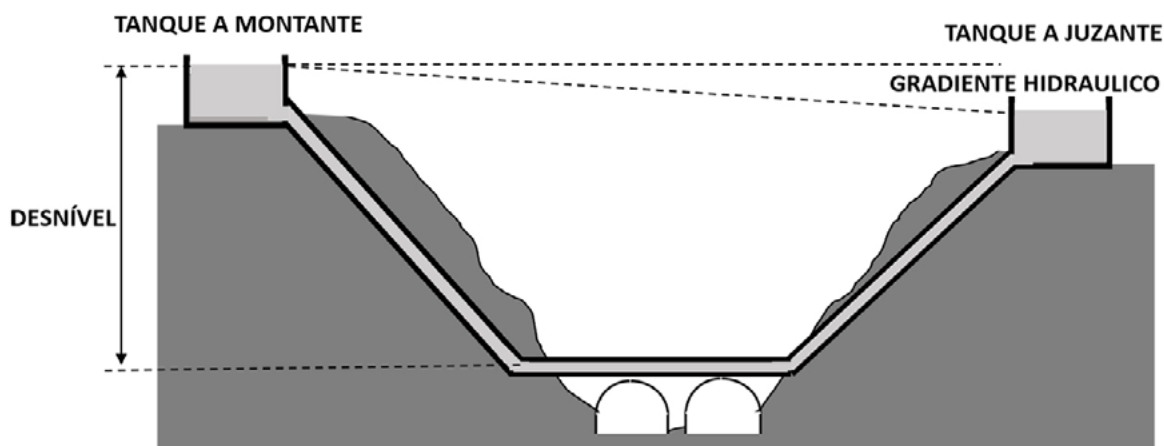
Roma do período imperial era alimentada por 11 aquedutos que conduziam à cidade cerca de 1 000 000m<sup>3</sup> de água por dia (Aicher, 1995, p. 165), para uma população de cerca de 1 200 000 habitantes, ou seja, 830m<sup>3</sup> de água por habitante, situação invejável para a época e não só. Em 1887 as grandes cidades europeias apresentavam rácios inferiores àqueles (Montenegro, 1895, p. 122) (Quadro 7).

**QUADRO 7**  
**CAPITAÇÃO DE ÁGUA NA EUROPA EM 1887**

CIDADE	POPULAÇÃO	LITROS POR HABITANTE
Paris	2 424 000	215
Londres	4 263 000	135
Berlim	1 662 000	75 (?)
Viena	1 406 000	100 (?)
Nova York	1 816 000	297
Lisboa	565805	138

Os materiais em que são fabricados os encanamentos são muito diversos porque existem dois tipos fundamentais de encanamentos: os que permitem um escoamento em superfície livre e os que são destinados a escoamentos sob pressão. Os escoamentos em superfície livre (por gravidade) são dimensionados pela inclinação e a secção de passagem.

Os escoamentos em pressão foram, no passado, utilizados nos sifões concebidos para ultrapassar obstáculos geográficos, como vales e elevações de terrenos, podendo assumir duas formas: sifões propriamente ditos e sifões invertidos (Figura 21). Este tipo de escoamentos tem as suas dificuldades específicas: os primeiros encaminham um escoamento que, nos pontos de cota mais elevada, está em depressão, isto é, trabalha a uma pressão inferior à pressão atmosférica o que exige cuidados com a estanquicidade evitando a entrada de ar que impediria o escoamento. Os sifões invertidos têm, também, uma dificuldade própria que consiste em sobrepressões nos pontos de maior desnível, isto é, pressões superiores à pressão atmosférica o que obriga ao emprego de tubos resistentes. Em ambos os casos, os encanamentos têm de ser resistentes às diferenças de pressão, negativas no primeiro caso e positivas no segundo caso. Para os sifões invertidos, os romanos utilizavam tubos de chumbo por uma razão fundamental: os tubos eram flexíveis o que facilitava a sua ligação por fusão. Tinham, porém, como inconveniente, uma tensão de rotura relativamente baixa, quando comparados com outros metais, que era compensada à custa de uma sobre espessura da parede. A execução dos tubos era feita a partir de uma placa de chumbo com uma



**Figura 21** Sifão invertido. Desenho do autor.

espessura entre 5 e 15 milímetros (Martins e Ribeiro, 2012, p. 9) sendo a espessura variável de acordo com a carga prevista para os tubos. A enformação dos tubos era feita com um molde cilíndrico de dimensão normalizada. A ligação das arestas fazia-se por soldadura conferindo, por vezes, aos tubos a forma de pera. A fabricação de tubos de chumbo sem costura só viria a acontecer em 1790, quando o chumbo fundido passou a ser vazado num molde com um cilindro de aço no interior e o processo de extrusão só foi implementado mais tarde, em 1820 (Derry and Williams, 1993, p. 498).

Os quatro aquedutos construídos para abastecer a cidade de Lyon (Lugdunum) estão implantados numa região que, devido ao relevo, foi pródiga na utilização de sifões invertidos: o aqueduto do Mont d'Or, construído nos primeiros anos do período de Augusto com um comprimento de 26 km; o aqueduto de Yzeron construído, de 20 – 10 a.C. com 40 km de extensão; o Aqueduto de Brévenne, construído no I Século d.C., com uma extensão de 70 km; e, finalmente, o aqueduto de Gier construído entre 50 a 125 d.C. com uma extensão de 86 km. Devido ao relevo natural estes quatro aquedutos possuíam um total de 10 sifões invertidos (Quadro 8).

**QUADRO 8**  
**ALGUNS SIFÕES INVERTIDOS NOS AQUEDUTOS DE LYON**  
**CONSTRUÍDOS DURANTE O DOMÍNIO ROMANO**

AQUEDUTOS	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	PRESSÃO MÁXIMA (kg/cm <sup>2</sup> )	PERDA DE CARGA TOTAL (m)	PERDA DE CARGA POR METRO (mm/m)	GRADIENTE HIDRAULICO (m/km)
Mont d'Or 1	420	30	3,0	8	19	19?
Mont d'Or 2	3500	70	7,0	11	3,1	3.1
Yzeron 1	2200	33	3,3	7	3,1	3.2
Yzeron 2	3600	91	9,1	33	9,1	9.2
Brévenne 1	3500	90	9,0	14/16	4,0/4,6	4/4.6
Brévenne 2	500?	20/22?	2,0/2,2 ?	?		?
Gier 1	700	79	7,9	5.8	8,3	8.3
Gier 2	1210	93.5	9,4	8.8	7,3	7.3
Gier 3	2660	122.3	12,2	7.9	3,0	3
Gier 4	575	38?	3,8 ?	2.3	4,0	4

Fonte: (Nicolic, 2008)

A utilização da madeira no fabrico de tubos perfurados é muito antiga na Europa do norte. Os tubos de junco também tiveram uma utilização frequente na antiga China. De acordo com testemunhos recolhidos em Mainz e Aachen, os romanos também os utilizaram nas redes de distribuição urbana (Hodge, 2011, p. 109).

Outros materiais utilizados pelos romanos eram a terracota e a pedra, para além do chumbo. Como se viu, este último material por ser muito dúctil permitia construir canalizações com soldaduras estanques utilizadas nas condutas em pressão. Os encanamentos mais frequentes e menos exigentes em termos de carga eram construídos em terracota que, apesar da sua fragilidade, também era, por vezes, aplicada nos sifões, apresentando, então,



**Figura 22** Perspetiva do Aqeduto das Águas Livres, sobre o vale de Alcântara, 1949. AML, PT/AMLSB/CMLSB/PCSP/004/HNV/000050.

uma parede espessa para permitir a resistência destes elementos a pressões elevadas. O seu comprimento oscilava entre 40 e 70 centímetros e o seu diâmetro interior ficava limitado aos 15 centímetros. O diâmetro de um dos lados era mais reduzido a fim de poder encaixar no topo da peça que lhe estava justaposta (Hodge, 2011, p. 113).

Ao longo do tempo, a evolução tecnológica permitiu a criação de novos materiais que foram sendo progressivamente utilizados. A procura de materiais mais resistentes e leves foi uma constante e a escolha nem sempre foi fácil com base na análise das vantagens e inconvenientes de uns e de outros. Um exemplo deste facto teve por cenário o Aqeduto das Águas Livres (Figura 22).

A escolha dos materiais dos encanamentos para este aqeduto foi um dos problemas a resolver entre os decisores que participaram no projeto (Sequeira, 1967, p. 378), tendo surgido algumas discordâncias que mostram as dificuldades de entendimento durante a construção. A discussão foi sobre a utilização do ferro, do chumbo ou da pedra – esta última solução, apadrinhada por Manuel da Maia, foi aquela que vingou (Lisboa, 1990, p. 242).

Após a construção do aqeduto mantiveram-se as dificuldades no abastecimento de água à cidade de Lisboa, como ficou bem explícito nas razões apresentadas pelo Estado para a rescisão do contrato por incumprimento da

primeira companhia das águas (CEAL - Companhia da Empresa das Águas de Lisboa) a quem tinha sido adjudicada a concessão do abastecimento de água à cidade.

Quando foi constituída a segunda companhia das águas (CAL - Companhia das Águas de Lisboa) houve, desde logo, que promover uma nova captação que foi decidida com o encaminhamento das águas do rio Alviela. Quando se iniciou o projeto do Alviela, o Engenheiro Louis-Charles Mary, que foi o consultor da Companhia das Águas de Lisboa, preconizou, para a rede de distribuição, um tipo de tubagem de fundição revestido que já tinha sido utilizado noutros projetos daquele técnico<sup>25</sup>.

Os tubos de fibrocimento, um material barato e leve composto por cimento com 10 a 15% de fibra de amianto foram utilizados industrialmente a partir de meados do século XIX e tiveram, até meados do século XX, uma aplicação intensiva. O amianto (material metamórfico de ocorrência natural) é um produto conhecido desde a pré-história tendo sido utilizado desde o 2º milénio a.C. para reforço de tijolos e artigos de cerâmica no norte da Europa. A sua aplicação nos encanamentos de distribuição de água ficou a dever-se à sua leveza e ao seu baixo custo. Ainda existem redes que contêm muitos quilómetros deste tipo de encanamentos que, para distribuição de água, não conferem um perigo particular<sup>26</sup>.

O ferro fundido (Figura 23) foi um material muito utilizado em tubagens desde meados do século XVII com juntas de flanges<sup>27</sup>. A ligação também se fazia com encaixe macho-fêmea, com vedação da junta com estopa coberta e chumbo fundido. Em meados do século XX, as juntas começaram a ser realizadas com borracha tornando o processo mais simples e eficaz. Os melhoramentos conseguidos no processo de fundição muito contribuíram também para uma maior garantia de estanquicidade das juntas.

Os tubos em aço revestido passaram a ser os materiais de maior uso recente pois, além da sua flexibilidade, propriedade que não assistia os tubos de ferro fundido, são mais leves e permitem uma cobertura que prolonga a sua longevidade. Atualmente existem materiais tecnicamente mais avançados e que são selecionados de acordo com o fim a que se destinam: tubos de ferro fundido de alta flexibilidade, tubos de aço inoxidável (cromo-níquel), tubos de PVC (cloreto de polivinilo), tubos de poliéster reforçados a fibra de vidro e, ainda, tubos em fibra de carbono para os casos mais exigentes em que a leveza do produto compensa a procura de uma solução mais cara.

---

<sup>25</sup> De acordo com o “Brevet d’Invention” ou patente da empresa Chameroy et C<sup>e</sup> os tubos por ela fabricados são “Tubos em betume e asfalto em substituição dos tubos de chumbo, de fundição e de outras condutas de água e de gás com 40% de economia e resistência dupla aos ensaios aos quais os tubos de fundição são submetidos”.

<sup>26</sup> O principal risco do amianto é a inalação das fibras não conferindo especial perigo a sua ingestão, embora se tenham verificado problemas para saúde ocasionados pela libertação de fibras que se podem alojar nos pulmões dando origem a doenças graves.

<sup>27</sup> As juntas flangeadas consistiam em superfícies planas maquinadas, uma em cada um dos tubos, fortemente aparafusadas uma contra a outra e com uma junta entre elas para evitar fugas.





**Figura 23** Obras de renovação de condutas de ferro fundido e fibrocimento por polietileno de alta densidade. Assentamento de canalização do adutor Vila Franca de Xira – Telheiras. EPAL, PT/EPAL\_CDHT/AH/AF-EPAL/EPAL27/2002\_0150.

## CONCLUSÃO

Os conhecimentos práticos adquiridos ao longo dos séculos de civilização permitiram recolher do meio ambiente os materiais que alteraram a forma de viver da Humanidade. A mente brilhante de alguns dos nossos antepassados permitiu compensar a sua falta de conhecimentos de base levando-nos a confirmar o que já há muito sabíamos: o brilhantismo da mente humana não se resume à sua capacidade de pensamento, mas igualmente à sua maravilhosa imaginação apoiada por uma intuição fabulosa e isso permitiu-lhe, não poucas vezes, desafiar a Natureza.

Em 2025 deverá estar concluído o Reator Experimental Termonuclear Internacional que, em funcionamento, deverá atingir 150 000 000°C no plasma onde a fusão nuclear deverá ocorrer e que deverá ficar confinado pelo campo magnético criado por magnetos que têm de ser mantidos a uma temperatura de -269°C. Estas temperaturas extremas deverão ser suportadas por materiais com características, condições de aplicação e qualidade adequadas, a fim de resistirem a estas condições.

A capacidade tecnológica potenciada pelo avanço da ciência tem mantido um progresso meteórico da tecnologia dos materiais, o seu poder transformador ao nível global mostra-se imparável e o futuro afigura-se impossível de antecipar. O processamento dos materiais adquire, assim, fundamental relevância.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### FONTES IMPRESSAS

Lisboa. Câmara Municipal (1990) – *D. João V e o abastecimento de água a Lisboa*. Lisboa: Câmara Municipal.

### ESTUDOS

AICHER, Peter J. (1995) – *Guide to the aqueducts of Ancient Rome*. Bolchazy: Carducci Publishers.

DERRY, T. K.; WILLIAMS, Trevor I. (1993) – *A short history of technology*. [S.l.]: Dover Publications.

HODGE, A. Trevor (2011) – *Roman aqueducts & water supply*. Bristol: Bristol Classical Press.

LEAKEY, Richard E. (1989) – *As origens do Homem*. Lisboa: Editorial Presença.

MARTINS, Manuela; RIBEIRO, Maria do Carmo (2012) – Gestão e uso da água em Bracara Augusta: uma abordagem preliminar. In MARTINS, Manuela; FREITAS, Isabel Vaz de; VALDIVIESO, María Isabel del Val, coord. – *Caminhos da água: paisagens e usos na longa duração*. Braga: CITCEM.

MONTENEGRO, Augusto Pinto de Miranda (1895) – *Memória sobre as águas de Lisboa*. Lisboa: Imprensa Nacional.

NICOLIC, Milorad (2008) – *Cross-disciplinary investigation of ancient long-distance water pipelines*. Victoria: [s.n.], Dissertation, Department of Greek and Roman Studies, University of Victoria. Disponível na Internet: [https://dspace.library.uvic.ca/bitstream/handle/1828/318/dissertation\\_final\\_MN27Feb.pdf?sequence=1](https://dspace.library.uvic.ca/bitstream/handle/1828/318/dissertation_final_MN27Feb.pdf?sequence=1)

REARDON, A. C., ed. (2011) - *Metallurgy for the non-metallurgist*. Second edition. Ohio: AMS International. Disponível na Internet: [https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05306G\\_TOC.pdf/07678056-70c3-4c2f-910d-33fc7e8dd2c5](https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05306G_TOC.pdf/07678056-70c3-4c2f-910d-33fc7e8dd2c5)

ROSAS, Antonio (2016) – Sobrevolando el Mundo de los Neandertales. *Arqueologia e História*. Nº 7.

La nouvelle histoire de nos origines (2018). *Science & Vie*. Nº 285 (Décembre).

SEQUEIRA, Gustavo de Matos (1967) – *Depois do Terramoto*. Lisboa: Academia das Ciências de Lisboa. vol. IV.

---

Aceitação/Approval: 10/12/2021

Submissão/submission: 20/12/2020

---

António Augusto Salgado de Barros, Investigador independente, 2775-594 Lisboa, Portugal. [salbarros@sapo.pt](mailto:salbarros@sapo.pt)  
<https://orcid.org/0000-0002-6543-5166>

---

BARROS, António A. Salgado de (2022) – Apontamentos sobre a história da descoberta dos materiais e de algumas das suas aplicações. *Cadernos do Arquivo Municipal*. 2ª Série Nº 17 (janeiro-junho), p. 129 – 155.  
Disponível na Internet: [http://arquivomunicipal.cm-lisboa.pt/fotos/editor2/Cadernos/2serie/17/10\\_mate.pdf](http://arquivomunicipal.cm-lisboa.pt/fotos/editor2/Cadernos/2serie/17/10_mate.pdf)

---

Licença Creative Commons CC-BY-NC 4.0