

CATÁSTROFES ANTRÓPICAS

UMA APROXIMAÇÃO INTEGRAL

IMPRENSA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
FÁTMA VELEZ DE CASTRO
(COORDS.)

**RISCOS ASSOCIADOS À ENERGIA.
PERSPETIVA HISTÓRICA
RISKS ASSOCIATED WITH ENERGY.
A HISTORICAL PERSPECTIVE**

Aires Rodrigues Francisco

Membro Conselheiro e Ex-Presidente da Região Centro da Ordem dos Engenheiros, Portugal
aires.francisco@gmail.com

Sumário: O presente trabalho pretende apenas sensibilizar os leitores para a problemática associada à energia, enquadrando-a, tanto quanto possível, na história da evolução da humanidade, para a qual contribuiu e continua a contribuir decisivamente, e para os cuidados com que deve ser olhada na atualidade.

Não pretende ser um estudo exaustivo, mesmo no que diz respeito aos grandes protagonistas das sucessivas descobertas que, através da energia e das suas aplicações, possibilitaram o atual estado de desenvolvimento da nossa civilização.

Trata-se de um tema muito vasto e, desde já, é pedida a complacência dos leitores para algumas imprecisões associadas aos assuntos que foram considerados relevantes para a sua compreensão, tendo em conta estar confinado a um espaço e a um tempo disponibilizados

Palavras-chave: Energia, carvão, petróleo, eletricidade, nuclear.

Abstract: This paper sets out to call readers' attention to the problems associated with energy, placing it, as far as possible, within the history of human evolution, to which it has made and still makes a crucial contribution, and to make them aware of the care with which it must be looked at today. It is not intended to be an exhaustive study, even with regard to the leading protagonists of the successive discoveries which, through energy and its applications, have enabled our civilization to achieve its current state of development.

This is a very wide-ranging subject and readers are asked to be understanding about any inaccuracies related to matters that were deemed relevant for its comprehension, considering the limitations of the space and time available.

Keywords: Energy, coal, oil, electricity, nuclear.

Introdução

A crescente dependência atual da energia a nível global, torna-a um dos principais fatores de sustentabilidade e também de riscos para o Planeta Terra. No entanto a conquista da energia sempre foi um dos desígnios da humanidade.

Com efeito, no seu processo de evolução, os seres vivos foram desenvolvendo estratégias de sobrevivência, certamente por aprendizagem intuitiva, nomeadamente através da conservação de energia, criando refúgios e armazenando produtos para satisfação das suas necessidades básicas de alimentação e reprodução, fazendo face aos ciclos da natureza e diminuindo os riscos.

A evolução da atividade humana começou também por ser garantida pela obtenção da energia através de formas recolectoras e, como os restantes seres vivos, sem possibilidade significativa de intervenção na natureza, agindo em ambiente de sobrevivência, naturalmente imposta pelos fenómenos naturais, no âmbito dos “elementos que regem o planeta” (fogo, terra, ar e água) de acordo com a cadeia alimentar e sempre com os riscos associados.

Utilização da Energia pelo Ser Humano: Uma Abordagem Histórica

O ser humano, à medida que adicionou a razão às estratégias de sobrevivência, desenvolveu novas ferramentas que lhe foram facilitando a aquisição e conservação da energia, começando assim o processo de ampliação das suas competências e capacidades naturais pela criação de outras que as iam reforçando, iniciando-se a intervenção na natureza de forma artificial, isto é, fazendo aquilo a que podemos chamar o *nascer da engenharia*.

Sendo fundamental para a sua sobrevivência o contorno ou domínio das ameaças que se lhe deparavam, o ser humano foi introduzindo alterações ao modo como se foi relacionando com o meio envolvente, de modo a aumentar a sua sustentabilidade, fazendo-a evoluir do nível de subsistência para sucessivos patamares de segurança e de conforto.

Com o aperfeiçoamento progressivo das suas ferramentas de intervenção, no princípio apenas de simples multiplicação da força muscular através de meios e métodos empíricos, o ser humano descobriu uma nova energia resultante da *produção e controlo do elemento fogo* (fig. 1) [1]¹, que lhe permitiu prosseguir uma caminhada de permanente aumento da sua capacidade de sobrevivência



Fig. 1 - Fogo por fricção de duas madeiras (Fonte: [1]).

Fig. 1 - Friction fire of two woods (Source: [1]).

Com efeito, o fogo [2] foi a maior conquista do ser humano na pré-história, tendo sido a *madeira* o primeiro combustível conhecido, utilizado pelo *homo erectus*, há cerca de *dois milhões de anos*.

¹ Tendo em conta que as referências bibliográficas são retiradas da internet, optou-se por um critério numérico, diferente do habitualmente usado nesta série de livros para indicar as referências bibliográficas utilizadas.

A partir desta conquista o homem aprendeu a utilizar a força do fogo em seu proveito, extraindo a energia dos materiais da natureza ou moldando-a com o mesmo objetivo, obtendo aquecimento e iluminação.

Aquecimento

Quanto ao aquecimento, o ser humano pré-histórico aprendeu a usar o fogo para se proteger do frio e também para cozinhar os alimentos.

Assim, o fogo terá sido o maior responsável pela sobrevivência do ser humano e pelo grau de desenvolvimento da humanidade, apesar de, durante muitos períodos da história, também ter sido usado no desenvolvimento e na criação de armas, ou seja, como força destrutiva.

Iluminação

Quanto à iluminação [3], antes de dominar o fogo, o ser humano dependia totalmente da luz natural para executar a maioria das suas atividades até que, no período *paleolítico* ou idade da pedra lascada, o nosso antepassado *homo habilis*, conseguiu a iluminação, uma das maiores descobertas da humanidade, e que constituiu o *início da história da iluminação*.

Os primeiros artefactos conhecidos que o homem construiu para transportar o fogo, foram as tochas primitivas, sucessivamente aperfeiçoadas por povos como os fenícios, babilônios e egípcios, que as construíram com madeira resinada.

O fogo serviu também como proteção aos nossos antepassados, afastando os predadores, e para a caça, com tochas, utilizando diversas madeiras e vários óleos vegetais e animais.

Posteriormente, a gordura animal veio a ser o primeiro líquido utilizado para iluminação de ambientes, tendo assim surgido as primeiras velas ou lucernas construídas com fibras vegetais e gordura animal.

Dominado o fogo, no seu percurso de desenvolvimento, o ser humano foi também multiplicando a energia disponibilizada pelo sol, pelo vento, pela água e pela terra, a que adicionou a dos animais domesticados (e também a do seu semelhante escravo ...), num processo longo mas imparável de aumento da obtenção e utilização da energia disponível, que foi induzindo a ampliação e/ou substituição da primitiva e exclusiva energia muscular.

Deste modo, e durante muitos milhares de anos foi suficiente a obtenção, quase sempre recolectora, da energia disponível para a satisfação do que então eram consideradas as necessidades humanas, sempre com base na simples queima de produtos vegetais.

O ser humano, naturalmente procurando cada vez mais proteção, descobriu a possibilidade de tecer produtos vegetais, *dando origem à tecelagem*, que viria a ser, *com a energia*, um dos fatores que originaria a Primeira Revolução Industrial.

Tecelagem

Quanto à tecelagem, [4] o ser humano desenvolveu técnicas e ferramentas desde a antiguidade.

A tecelagem é conhecida por ser uma das formas mais antigas de artesanato, havendo indícios de que já era conhecida no *Paleolítico*.

Cerca de *10 000 anos a.C.*, na Era do *Neolítico* o homem já utilizava o princípio da tecelagem, para construir barreiras, escudos ou cestas.

As Teias de aranha e ninhos de pássaros podem ter sido as fontes de inspiração para tal trabalho, sendo provável que o homem primitivo tenha começado a usar novos materiais para produzir os primeiros tecidos rústicos, e, mais tarde, *vestuário*, *mais um meio para a regularização da energia no corpo humano*.

Cerca de *3600 a.C.*, no Antigo Egito, o linho era a fibra dominante.

Em *2700 a.C.*, já eram conhecidos tecidos de seda na China.

Na *Europa medieval*, a fibra predominante para os tecidos era a lã, seguida pelo linho, pela juta e pela estopa.

Cerca do *século IX* foi introduzido o algodão na Europa.

Nos *séculos X e XI* os teares verticais de pesos eram muito comuns, antes da introdução dos teares horizontais

No *século XII*, depois de muitos aperfeiçoamentos que levaram à sua invenção, eventualmente na China ou na Índia, o *tear de pedais chegou à Europa* (fig. 2), através dos Bizantinos ou dos Árabes.



Fig. 2 - Tecelão em Nuremberga em 1425 (Fonte: [4]).

Fig. 2 - Weaver in Nuremberg in 1425 (Source: [4]).

Depois de muitos aperfeiçoamentos dos teares manuais, surgiu a *ideia da sua mecanização*, através do uso da *energia hídrica* disponibilizada pelas quedas de água dos rios, com os conhecimentos adquiridos através dos moinhos de água, o que viria a acontecer no *século XVIII*.

Em 1725, Basile Bouchon [5], trabalhador têxtil francês, inventou um método de controlo do tear com cartões perfurados (fig. 3), que constitui a *origem da automação e da informática*.

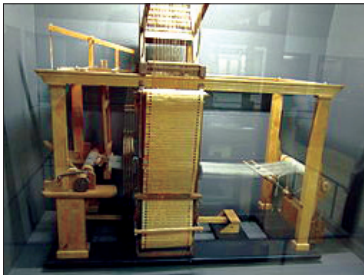


Fig. 3 - Tear de Basile Bouchon 1725 (Fonte: [5]).

Fig. 3 - Tear of Basile Bouchon 1725 (Source: [5]).

Apesar das sucessivas inovações tecnológicas, o tear mecânico *só em 1980* se tornaria automático.

Combustíveis

Para as sucessivas utilizações do fogo pelo ser humano, foi sendo necessária a *procura de combustíveis*, pelo que também neste aspeto houve natural evolução.

Depois da *madeira*, o primeiro combustível descoberto foi, como era natural, o *carvão vegetal*.

O carvão vegetal

O *carvão vegetal* (fig. 4) [6], um derivado de madeira, é usado *desde pelo menos 6 000 anos a.C.* para os metais de fusão.



Fig. 4 - Carvão vegetal (Fonte: [6]).

Fig. 4 - Charcoal (Source: [6]).

A “*idade dos metais*” e a sua evolução [7] (Idades do cobre: 6 500 - 1 200 a.C.; do bronze: 3 300 - 700 a.C.; do ferro 1 200 a.C. - 1 000 d.C.), isto é, a invenção da metalurgia, *exigiu quantidades crescentes de energia*, inicialmente sob a forma de lenha e carvão vegetal.

O carvão mineral

O *carvão mineral* (fig. 5) [8], sabe-se que já era utilizado como combustível em Gales, na Grã-Bretanha, desde o segundo milénio a.C.. No entanto a sua exploração mineira na Europa só ocorreu por volta do século XIII.



Fig. 5 - Carvão fóssil (Fonte: [8]).

Fig. 5 - Fossil coal (Source: [8]).

O petróleo

O *petróleo*, cujo nome deriva do latim *petroleum*, *petrus* (pedra) e *oleum* (óleo), do grego *petrélaion* (óleo da pedra), do grego antigo *petra* (pedra) + *elaion* (azeite) é uma mistura de substâncias oleosas.

Desde cerca de 4 000 a.C. [9] que há registos históricos da sua utilização, devido a exsudações e afloramentos frequentes no Médio Oriente.

Os povos da Mesopotâmia, do Egipto, da Pérsia e da Judeia já utilizavam o betume para pavimentação de estradas, calafetação de grandes construções, aquecimento e iluminação de casas, bem como lubrificantes e até laxativo.

Cerca de 600 a.C., *Heródoto* citou em "História", processos de obtenção do petróleo e do betume no Médio Oriente.

Em 347 a.C., no mínimo, os chineses já perfuravam poços, usando hastes de bambu.

Amiano Marcelino, historiador do período final do Império Romano, menciona o óleo da Media, usado em flechas incendiárias, que não era apagado com água, mas apenas com areia.

Um outro óleo, mais viscoso, era produzido na Pérsia, e chamado *nafta* na língua persa. No início da era cristã, os árabes davam ao petróleo fins bélicos e de iluminação. Em 1271, quando *Marco Polo* viajou pelo norte da Pérsia, o petróleo de Bacu, no Azerbaijão, já era produzido em escala comercial, para os padrões da época. Só mais tarde, no século XIX, seria iniciada a sua exploração industrial.

O gás natural

O gás natural [10], é conhecido desde os tempos da antiguidade.

Em 1 867 a.C. [11], na Babilónia, na Pérsia e na Grécia, em lugares onde o gás mineral era expelido naturalmente para a superfície, os povos construíaam templos onde mantinham aceso o “fogo eterno”. No entanto, como se verá, o gás natural só viria a ser mais conhecido a partir do século XVIII.

No decurso da história, o ser humano continuou a busca da energia na natureza, inventando novos meios para a colocar ao seu serviço, aparecendo assim os primeiros mecanismos para aproveitamento da *energia da água e do vento, através dos moinhos*.

Primeiros aproveitamentos da energia

O moinho de água

O moinho de água (fig. 6) [12] foi o invento que permitiu o aproveitamento da *energia da água*.

É no século II d.C. [13] que aparece o moinho de água, através dos gregos e dos romanos, que depois o espalharam pela Europa.

O termo «moinho» deriva do latim «*molinum*», de “*molo*”, que significa moer, triturar cereais ou dar à mó, para produzir farinha.



Fig. 6 - Pormenor de Moinho de água:
Rodízio (Fonte: [12]).

Fig. 6 - *Detail of Water Mill: Caster* (Source:
[12]).

Já desde o *século II a.C.* [14], era conhecido o moinho de água na Ilíria, que existiu no mundo romano onde foi construído pela primeira vez.

Os romanos substituíram as antigas rodas horizontais pelas rodas verticais com uma engrenagem que religava o eixo horizontal da roda ao eixo vertical. Porém praticamente não as utilizavam, porque possuíam a *energia dos escravos* e também porque na maioria dos territórios romanos não abundavam correntes rápidas.

No século IX o moinho hidráulico já estava difundido no Ocidente, mas o seu pleno desenvolvimento veio a acontecer entre os séculos XI e XIV, onde alguns registos mostram mais construções do que nos períodos anteriores.

O moinho de vento

O *moinho de vento* (fig. 7) foi o invento que permitiu o aproveitamento da *energia do vento*.

São do *século V* [15], as primeiras referências conhecidas a moinhos de vento, admitindo-se que os aparelhos movidos a vento eram utilizados no Irão para fazer farinha.

No Oriente, este tipo de estrutura mecânica começou por ter aplicação prática *para a elevação (ou bombagem) de água*.

No Ocidente, terá sido aplicada inicialmente pelos Persas à moagem de cereais.

Na Europa, é de 1185 o moinho de vento mais antigo conhecido, que trabalhava na Inglaterra.



Fig. 7 - Moinho de Vento Português (Fonte: [15]).

Fig. 7 - Portuguese Windmill (Source: [15]).

A rega na agricultura foi também uma das preocupações da humanidade para diminuir a energia necessária à elevação da água, tendo havido inventos que, apesar de rudimentares, chegaram até ao século XX.

A bomba de água

A bomba de água [16] foi uma invenção que permitiu a satisfação da necessidade de irrigação na agricultura.

Embora a agricultura esteja em prática há mais de 10 000 anos, os primeiros registos que temos de irrigação são devidos aos egípcios.

Com efeito, cerca de 1500 a.C., apareceu a primeira máquina de elevação de água, a *picota*, ou *cegonha*.

Posteriormente apareceram o *sarilho*, usado para elevar um balde, a *nora* e a *roda persa*.

Todas estas máquinas eram movidas por energia humana ou animal.

Por sua vez, *Arquimedes de Siracusa* (287 a.C. - 212 a.C.) [17], inventou um dos tipos de bomba mais antigos, que foi o *parafuso de Arquimedes*.

Cerca do ano 250 a.C., Ctesibius inventou uma bomba alternativa movida por uma *roda d'água*, construída pelo seu discípulo Hero de Alexandria.

No século V [18], também viria a ser usado o moinho de vento *para a elevação (ou bombagem) de água*.

A aviação

A aviação remonta a tempos pré-históricos, pois o desejo de voar está presente na humanidade, provavelmente desde o dia em que o ser humano passou a observar o voo dos pássaros e de outros animais voadores.

Ao longo da história, o ser humano sempre foi impelido a inventar soluções para voar, apesar dos riscos.

Assim, acredita-se que *por volta de 400 a.C.* [19], *Arquitas de Tarento* (fig. 8) “Archytas” (428 a.C.- 347a.C.) [20], filósofo, cientista, estratega, estadista, matemático e astrónomo grego, *construiu um pombo de madeira capaz de “voar”* por cerca de 180 metros.

A ter existido, este pombo de madeira teria sido a *primeira máquina voadora* que se movimentava por meios próprios.



Fig. 8 - Arquitas de Tarento (Fonte: [20]).

Fig. 8 - Archies of Tarentum (Source: [20]).

Alguns anos mais tarde, *cerca do ano 300 a.C.*, os chineses também inventaram a *pipa (planador)*, bem como as técnicas de fazê-la “voar” no ar.

E assim, *durante séculos*, várias pessoas acreditaram que os seus corpos voariam ou flutuariam no ar se eles usassem asas, colocando-as nos braços e balançando-os como os pássaros ..., naturalmente falhando.

Depois, próximo de 200 a.C., *Arquimedes de Siracusa* (287 a.C. - 212 a.C.) (fig. 9) [17], matemático, físico, engenheiro, inventor e astrónomo grego, descobriu o modo como os objetos flutuavam nos líquidos, *que o levou a exclamar a famosa expressão “Eureka”!*



Fig. 9 - Arquimedes de Siracusa, em pintura de Domenico Fetti (1620) Fonte: [17]).

Fig. 9 - Archimedes of Syracuse, in painting by Domenico Fetti (1620) Source: [17]).

Em 1290 (cerca de mil anos depois...), *Roger Bacon* (1214 - 1294) (fig. 10) [21], padre, filósofo e matemático, escreveu que *o ar, como a água, tinha algumas características de sólidos ...*, admitindo que uma máquina que tivesse as características adequadas poderia fazer com que o ar a suportasse...

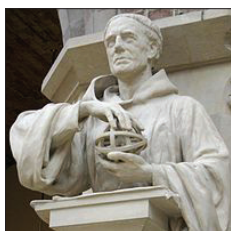


Fig. 10 - Roger Bacon (Fonte: [21]).

Fig. 10 - Roger Bacon (Source: [21]).

Mais tarde, já no Século XV, *Leonardo da Vinci* (1452-1519) (fig. 11) [22], artista e inventor italiano, terá sido a *primeira pessoa a dedicar-se seriamente a projetar uma máquina capaz de voar* carregando um ser humano, que desenhou mas nunca chegou a construir.

Tais máquinas eram planadores e ornitópteros (fig. 12), que usavam um mecanismo semelhante ao utilizado pelos pássaros para voar.



Fig. 11 - Autorretrato de Leonardo da Vinci (Fonte: [22]).

Fig. 11 - Leonardo da Vinci self-portrait (Source: [22]).



Fig. 12 - Ornitóptero de Leonardo da Vinci (Fonte: [22]).

Fig. 12 - Ornithopter of Leonardo da Vinci (Source: [22]).

O planador veio a ser notabilizado nos séculos XIX e XX, e, com base num estudo recente de um protótipo deste planador, o seu desenho é considerado o *primeiro esboço sério de uma aeronave tripulada*.

Em 1709, Bartolomeu Lourenço de Gusmão, (1685-1724) [23], cognominado o padre voador, sacerdote secular, cientista e inventor luso-brasileiro, inventou o *primeiro aeróstato operacional*, a que chamou “*passarola*” (fig. 13).

A “*Passarola*” foi considerada o primeiro voo bem sucedido de um balão de ar quente.

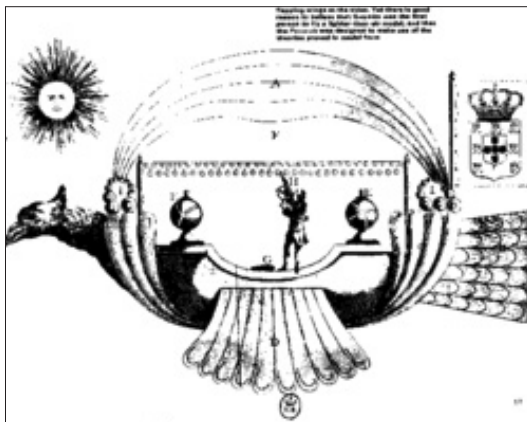


Fig. 13 - A “*Passarola*” de Bartolomeu de Gusmão (Fonte: [23]).

Fig. 13 - Bartolomeu de Gusmão's “Passarola” (Source: [23]).

A energia do vapor de água

A *energia do vapor de água*, foi também uma descoberta importante na evolução da humanidade, talvez mesmo um dos principais fatores de desenvolvimento até aos nossos dias.

O mecanismo a que podemos chamar o *primeiro motor a vapor* documentado na história, foi a *eolípila* (fig. 14) [24], também chamada “*bola de vento*”.



Fig. 14 - Eolípila (Fonte: [24]).

Fig. 14 - *Eolípila* (Source: [24]).

Este *simples motor a vapor* foi criado no século I por *Heron de Alexandria* (fig. 15) [25], geómetra e engenheiro grego, quando inventou um mecanismo para provar a pressão do ar sobre os corpos.

Heron ficou especialmente conhecido pela fórmula que tem o seu nome e se aplica ao cálculo da área do triângulo.

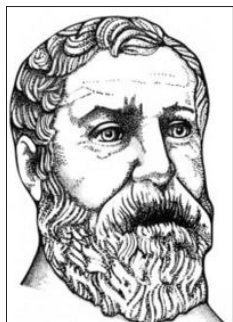


Fig. 15 - Heron de Alexandria (Fonte: [25]).

Fig. 15 - *Heron of Alexandria* (Source: [25]).

Passados alguns séculos, em 1679, *Denis Papin* (1647-1712) (fig. 16) [26], físico e inventor francês, após ter-se interessado em 1673 pela utilização do vácuo para *gerar força motriz*, inventou a célebre *Marmita de Papin* (máquina a vapor), que precedeu a invenção do autoclave e da panela de pressão.

Foi assim que apareceram sucessivas gerações de motores a vapor, crescentemente mais complexos, mais eficientes, mais potentes e com cada vez maior capacidade de *disponibilizar energia* para as atividades humanas.



Fig. 16 - Denis Papin (Fonte: [26]).

Fig. 16 - Denis Papin (Source: [26]).

Em 1698, *Thomas Savery* (1650-1715) (fig. 17) [27], inventor e engenheiro militar inglês, patenteou um primeiro modelo comercial de bomba a vapor de vácuo, que ficou com o seu nome, destinada a *bombear a água que inundava as minas*, especialmente as de carvão, um grave problema no final do século XVII.

Na sua época constituiu um grande avanço para a indústria mineira, embora a máquina, para puxar água a partir de 15 metros de profundidade, fosse de muito difícil construção.

A máquina também poderia ser utilizada para a distribuição da água nas cidades, dando assim um passo importante para a revolução industrial.



Fig. 17 - Thomas Savery (Fonte: [27]).

Fig. 17 - Thomas Savery (Source: [27]).

Considera-se que nesta máquina foi feita a *primeira utilização do carvão para realizar trabalho mecânico*.

No entanto, a invenção de Savery não pode ser estritamente considerada como o primeiro “motor” de vapor, uma vez que não apresentava peças móveis e não podia transmitir a sua energia a qualquer dispositivo externo.

Em 1712, *Thomas Newcomen* (1664 – 1729) (fig. 18) [28 e 29], inventor inglês, com base no dispositivo a vapor de Thomas Savery e no Pistão de Vapor de Denis Papin, projetou uma nova máquina, que poderia ser utilizada dentro de minas de carvão, e que não só podia elevar água mas também cargas mais pesadas, podendo por isso substituir os cavalos que eram usados no trabalho, *dando mais um contributo para a introdução do vapor na nossa sociedade*.



Fig. 18 - Thomas Newcomen (Fonte: [28]).

Fig. 18 - *Thomas Newcomen* (Source: [28]).

A invenção de Newcomen consistiu em usar o vapor para impulsionar um êmbolo num cilindro, que acionava uma alavanca e que propulsionava o veio da bomba que descia para a mina. Dessa forma conseguia tirar água a mais de 50 metros de profundidade, ininterruptamente.

Assim, criou o primeiro dispositivo prático a aproveitar o vapor para produzir *trabalho mecânico*, ou seja, *criou o primeiro motor a vapor de combustão externa*.

Os motores de Newcomen foram usados em toda a Grã-Bretanha e Europa, tendo sido construídas centenas ao longo do século XVIII, para drenar água das minas e de zonas pantanosas e para fornecer água às cidades.

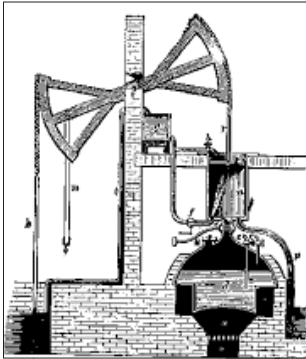


Fig. 19 - Motor a vapor de Newcomen (Fonte: [29]).

Fig. 19 - Newcomen steam engine (Source: [29]).

Em 1745 [30], para satisfação da *crescente procura de carvão*, devida à difusão do motor a vapor, e para outros usos, *foi aberta a primeira mina comercial de carvão* em Richmond, e depois, em 1770, passou a ser extraída antracite na Pensilvânia, ambas nos EUA.

Em 1765, *Joseph Cugnot* (1725-1804) (fig. 20) [31], inventor francês, engenheiro militar, fez experiências com modelos de máquinas a vapor destinadas ao transporte de pesados canhões para o exército francês.

Cugnot construiu o que pode ter sido o *primeiro veículo autopropulsionado do mundo*, um veículo de transporte de carga, de três rodas, construído em madeira (fig. 21).

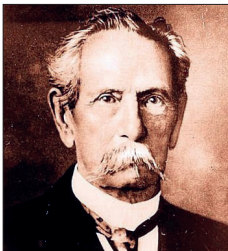


Fig. 20 - Joseph Cugnot (Fonte: [31]).

Fig. 20 - Joseph Cugnot (Source: [31]).

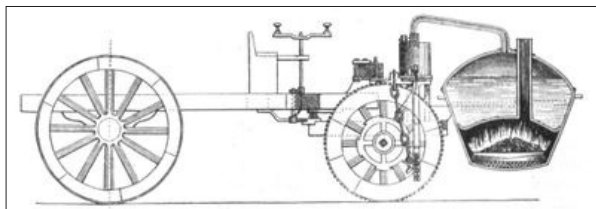


Fig. 21 - O veículo de Cugnot (Fonte: [31]).

Fig. 21 - The vehicle of Cugnot (Source: [31]).

Cugnot parece ter sido também *o primeiro a conseguir converter o movimento de um pistão num movimento rotativo*.

Uma versão funcional da sua máquina a vapor circulou em 1769 e tinha capacidade para carregar até 4 toneladas à velocidade de 4 km por hora.

Tinha um par de rodas atrás e uma na frente (fig. 22), que suportavam a caldeira, e era dirigido por um leme.

Em 1771 o seu veículo bateu contra uma parede de tijolos, ficando conhecido como *o primeiro acidente rodoviário motorizado do mundo*.



Fig. 22 - O triciclo de Cugnot (Fonte: [31]).

Fig. 22 - The Cugnot tricycle (Source: [31]).

A energia atômica

Sobre a energia atômica, verifica-se que a história do ser humano está permanentemente associada à sua curiosidade relativamente à natureza envolvente, e ao esforço para compreender o modo como se pode relacionar com ela.

Assim, no *século V a.C.*, *Demócrito de Abdera* (370 - 460 a.C.) (fig. 23) [32], filósofo grego, foi o primeiro na história a dar uma *definição de átomo* como a menor partícula que constitui a matéria.

O termo “átomo” é uma palavra grega que significa “não divisível”.



Fig. 23 - Demócrito (Fonte: [32]).

Fig. 23 - Democritus (Source: [32]).

Mais tarde, com a chegada da *fissão nuclear*, verificou-se que é possível dividir átomos para obter energia.

A eletricidade

A eletricidade foi descoberta, naturalmente, através da observação da natureza pelo ser humano.

Assim, foi *Thales de Mileto* (624 - 546 a.C.) (fig. 24) [33], filósofo, matemático, engenheiro, homem de negócios e astrónomo da Grécia Antiga, quem *percebeu o fenómeno que mais tarde viria a ser designado por eletricidade*.

É considerado, por alguns, *o primeiro filósofo ocidental*

Thales verificou que uma resina vegetal fósil petrificada, chamada âmbar (*elektron em grego*), quando esfregada com pele e lã de animais, tinha o poder de atrair objetos leves como palhas, fragmentos de madeira e penas, *dizendo-se que tinha sido eletrizada*.

Descobriu assim *o princípio da eletricidade estática*.

Embora na época não tivessem dado importância a sua descoberta, foi a partir do âmbar que surgiu mais tarde o termo eletricidade e os seus estudos foram continuados, mas só cerca de mil anos depois.

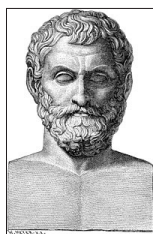


Fig. 24 - Thales de Mileto (Fonte: [33]).

Fig. 24 - *Thales of Miletus* (Source: [33]).

Com efeito, em 1600, *William Gilbert* (1544 – 1603) (fig. 25) [34], médico e filósofo natural inglês, atribuiu à atração dos corpos o nome de *eletricidade*, sendo a *unidade de “força magnetomotriz”* o “*gilbert*”, *em sua homenagem*.

É considerado, por alguns, *o pai da Engenharia Eletrotécnica*.



Fig. 25 - Willian Gilbert (Fonte: [34]).

Fig. 25 - Willian Gilbert (Source: [34]).

A energia do vapor de água e a melhoria do motor eolípila

Continuando a exploração da energia do vapor de água, surgiram novas melhorias do motor já inventado.

Assim, em 1769, *James Watt* (1736 - 1819) (fig. 26) [37], inventor e engenheiro mecânico escocês, tendo analisado um motor a vapor de Newcomen, usado há cerca de 50 anos, verificou que a adição de uma câmara de condensação separada evitaria perdas de energia naquele motor. Com este invento *aumentou o rendimento energético do motor em 75%*.

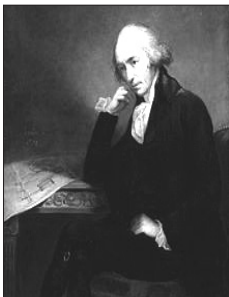


Fig. 26 - James Watt (Fonte: [37]).

Fig. 26 - James Watt (Source: [37]).

Em 1780 *James Pickard* (fig. 27) [38], inventor inglês, introduziu a manivela e, pela junção biela-manivela, passou a ser possível ou, se anteriormente inventado por Joseph Cugnot, melhorou a *transformação do movimento retilíneo alternativo do êmbolo da máquina a vapor em movimento rotativo de volante, o que contribuiu decisivamente para o avanço da Revolução Industrial.*



Fig. 27 - James Pickard (Fonte: [38]).

Fig. 27 - James Pickard (Source: [38]).

Conclusões Referentes à Evolução Pré-Industrial

Até este estado de desenvolvimento, verificámos o esforço do ser humano para *multiplicar a energia ao seu dispor*, sempre com vista a atingir melhores condições de sobrevivência, aumentando a sua segurança e o seu conforto.

Constatámos ainda que, à medida que cada necessidade foi satisfeita, os meios que a possibilitaram foram agregados a outros meios, conhecidos ou procurados, para conseguir a resolução de outros problemas sentidos, *com vista à adaptação das condições da natureza às suas necessidades*, numa permanente ambição de melhoria contínua.

E foi assim que a humanidade chegou à chamada Revolução Industrial, agora convencionalmente chamada *Primeira Revolução Industrial*.

Esta revolução Industrial é hoje enquadrada nas revoluções industriais que nos nossos dias (primeiro quartel do século XXI), alguns autores consideram ser a primeira de quatro, cada uma das quais necessitando sempre de mais energia, independentemente da sua origem ...

A imagem seguinte (fig. 28) [39], dá uma ideia do enquadramento histórico das quatro Revoluções Industriais.

Assim, na continuação da presente abordagem da energia, será usada a cronologia convencionalizada pelo autor da imagem, que para o efeito pareceu ser apropriada.

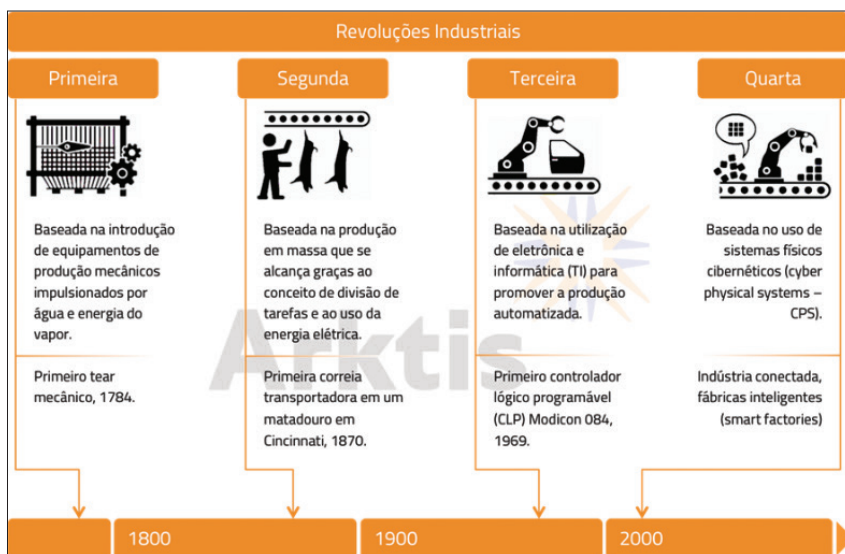


Fig. 28 - Enquadramento histórico das quatro Revoluções Industriais (Fonte: [39]).

Fig. 28 - Historical Background of the Four Industrial Revolutions (Source: [39]).

A Primeira Revolução Industrial (1784 - 1870)

O primeiro Tear Mecânico em 1784 [39], é considerado o símbolo do início da Primeira Revolução Industrial, baseada na introdução de equipamentos de produção mecânicos impulsionados por água, energia do vapor e com o uso do ferro na sua construção [40].

Tecelagem

Quanto à tecelagem [4], depois da fiação, a sua evolução com vista à mecanização foi também atingida, primeiro usando a *energia das quedas de água* e, depois, com a *energia do vapor*.

Com efeito, antes da Revolução Industrial a tecelagem era um ofício manual, com teares progressivamente melhorados para conforto e rentabilidade dos artesãos, mas que necessitava de muita evolução tecnológica para atingir a mecanização.

A existência em Manchester de muitos rios caudalosos e com rápidos, permitia a utilização de maquinaria impulsionada pela energia hidráulica, inspirando a sua utilização, *razão porque a fiação foi a primeira a ser mecanizada*.

Em 1785, *Edmund Cartwright* (fig. 29) [41], projetou o seu *primeiro tear mecânico*, que havia sido inventado em 1764 por James Hargreaves e que originou a construção de uma fábrica por Robert Grimshaw, em 1790, *movida com energia hidráulica*.



Fig. 29 - Edmund Cartwright (Fonte: [41]).

Fig. 29 - Edmund Cartwright (Source: [41]).

Esta é a razão pela qual, para alguns autores, *a fábrica com teares mecânicos constituiu o início da Primeira Revolução Industrial*.

Em 1792, a maioria da tecelagem de algodão era realizada em fábricas, com teares movidos por *energia hidráulica* (fig. 30).

Nessa altura havia cerca de 250 000 tecelões manuais no Reino Unido, que viram na primeira fábrica uma ameaça ao seu trabalho, razão porque se acredita que a sua destruição pelo fogo terá sido intencional.



Fig. 30 - Máquina de fiar em fábrica hidráulica (Fonte: [4]).

Fig. 30 - Hydraulic factory spinning machine (Source: [4]).

Em 1790 James Watt completou os aperfeiçoamentos do seu motor a vapor, que recebeu o seu nome e se tornou fundamental para o sucesso da Revolução Industrial.

Tais aperfeiçoamentos permitiram a sua utilização em inúmeras atividades, além da drenagem das minas, tais como na indústria (em martelos da metalurgia, moinhos de farinha, fabrico de papel), nos transportes (em locomotivas e navios), e na tecelagem a vapor.

Ajudou também a produzir uma máquina que fora cinco vezes mais eficiente que as similares, *poupando energia* obtida a partir do carvão que, apesar disso, continuou a ser cada vez mais procurado.

Refira-se que, para medir a potência, James Watt desenvolveu o conceito de “cavalo-vapor” (fig. 31).

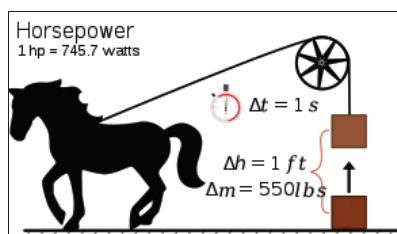


Fig. 31 - Método para medir o cavalo-vapor, ou 735,5 Watt (Fonte: [37]).

Fig. 31 - Method for measuring horsepower, or 735.5 Watt (Source: [37]).

Devido às suas contribuições científicas, foi atribuído o seu nome à *unidade de potência* do “International System of Units” (SI), que se designa por “Watt”.

Com a utilização da energia dos motores a vapor na tecelagem, as fábricas deixaram de ser estabelecidas obrigatoriamente à margem dos rios, passando a poder ser estabelecidas em locais próximos das minas de carvão, o que constituiu uma importante vantagem.

Só em 1805, mesmo já *com a energia do vapor*, os teares mecânicos passaram a dominar a produção de tecidos e, para o efeito, começaram a ser *fabricados em ferro fundido*.

O uso do ferro levou ao aparecimento de uma *grande indústria metalúrgica* dedicada à produção de teares mecânicos e outros equipamentos têxteis, *umentando naturalmente o consumo de carvão*.

Ainda quanto aos teares, apenas em 1890, com o sistema automático de enchimento e mudança de canela, é que o tear mecânico se tornou automático.

Em 1892, a maioria da tecelagem de tecidos de algodão era realizada em fábricas como esta (fig. 32), movidas por máquinas a vapor



Fig. 32 - Fábrica com teares movidos a vapor
(Fonte: [41]).

*Fig. 32 - Factory with steam powered looms
(Source: [41]).*

Máquina a vapor com rodas

Em 1801 *Richard Trevithick* (1771-1833) (fig. 33) [41], engenheiro de minas e inventor inglês, inventou a *máquina a vapor com rodas*.

Em 1804, também inventou a *primeira Locomotiva a Vapor para caminho de ferro*.

A locomotiva teve por base o motor a vapor aperfeiçoado por Thomas Newcomen, em 1712, por Joseph Cugnot em 1765 e depois por James Watt em 1777.



Fig. 33 - Richard Trevithick (Fonte: [42]).

Fig. 33 - Richard Trevithick (Source: [42]).

Ainda em 1804, construiu a *primeira locomotiva para caminho de ferro* (fig. 34), que foi usada nas minas de ferro em Pen-Y-Darren, no País de Gales, com 10 vagões atrelados, à velocidade de 8 Km/hora.

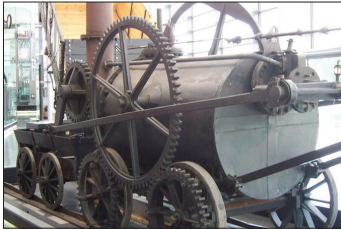


Fig. 34 - Locomotiva de Trevithick, em escala real
(Fonte: [42]).

*Fig. 34 - Trevithick locomotive, in real scale
(Source: [42]).*

Automatização do tear

Ainda quanto ao tear, também em 1804, *Joseph Jacquard* (1752-1854) (fig. 35) [43], mecânico têxtil e inventor francês, *inventou a automatização do tear*, com base num invento de cartões perfurados de Basile Bouchon [44], em 1725, e provou que as máquinas podiam ser programadas.

Constatar-se-ia, depois, que a invenção, baseada noutra invenção de Basile Bouchon, de 1725, “foi um feito na história da humanidade”.

A invenção do tear de jacquard permitiu a tecelagem com padrões e desenhos extremamente complicados, através da utilização de *cartões perfurados*.

Existem exemplos de tecidos Jacquard com caligrafia e gravuras tecidas, podendo a máquina de Jacquard, também depois melhorada, ser montada tanto em teares automáticos como em teares manuais.

Os cartões perfurados do Tear Jacquard foram os *percursores de todos os modernos computadores*.

O seu Tear Programável fez tanto sucesso que, em 1812, só em França eram utilizados cerca de 11.000.

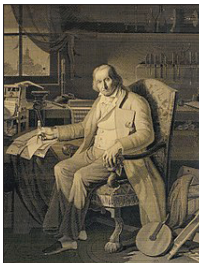


Fig. 35 - Joseph Jacquard (em tecido feito em tear programado com 24 000 Cartões Perfurados) (Fonte: [44]).

Fig. 35 - Joseph Jacquard (in loom fabric programmed with 24 000 Perforated Cards) (Source: [44]).

Barco a vapor

Em 1807, *Robert Fulton* (1765-1815) (fig. 36) [45], engenheiro e inventor americano, desenvolveu e apresentou o *primeiro Barco a Vapor* [46] com sucesso comercial a trabalhar no rio Hudson, transportando passageiros de New York para Albany, e regresso.



Fig. 36 - Robert Fulton (Fonte: [45]).

Fig. 36 - Robert Fulton (Source: [45]).

O sucesso da viagem do barco a vapor (fig. 37), que percorreu cerca de 480 km em 62 horas, modificou o tráfego e o comércio nos maiores rios americanos.

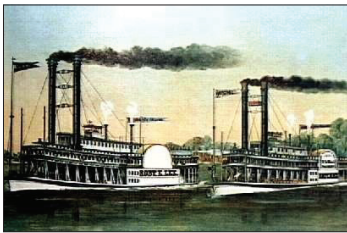


Fig. 37 - Barcos a vapor (Fonte: [46]).

Fig. 37 - Steamships (Source: [46]).

Locomotiva a vapor para transporte em Caminho de Ferro

Em 1814, *George Stephenson* (1781-1848) (fig. 38) [47], Engenheiro Civil e Engenheiro Mecânico Inglês, inventou a *primeira Locomotiva a vapor para transporte em Caminho de Ferro*. Ficou conhecido como o *pai do caminho de ferro*.



Fig. 38 - George Stephenson (Fonte: [47]).

Fig. 38 - George Stephenson (Source: [47]).

Em 1825, colocou em funcionamento a *primeira locomotiva para linha de caminho de ferro* (fig.39).



Fig. 39 - Primeira locomotiva para linha de caminho de ferro (Fonte: [47]).

Fig. 39 - First locomotive for railway line (Source: [47]).

Para o efeito estabeleceu a bitola de 1445mm (*4 feet 8 1/2 inches*) entre carris, que ficou com o seu nome e foi normalizada na maioria dos caminhos de ferro do Mundo.

Em 1825, colocou em serviço a *primeira linha de caminho de ferro público* (fig. 40) [48] para transporte de passageiros entre cidades (Liverpool - Manchester), que constituiu uma *componente chave da Revolução Industrial*.

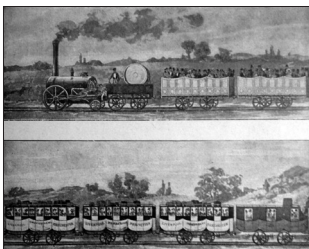


Fig. 40 - Primeiro comboio de passageiros (Fonte: [48]).

Fig. 40 - First passenger train (Source: [48]).

Admite-se que, no ano de 1824, foram produzidas 1164 máquinas a vapor, com a potência total de cerca de 26 000 cavalos-vapor.

A invenção e o uso de novos sistemas de transporte, através de comboio e de barco, originaram um grande *aumento da energia necessária e, em consequência, a procura de carvão*.

A Energia na Primeira Revolução Industrial

O vapor

A invenção da máquina a vapor foi determinante para acontecer a Primeira Revolução Industrial.

Com efeito, o invento proporcionou uma fonte de *energia mecânica sem precedentes* e, à medida que a indústria, os transportes e outras utilizações foram aumentando as suas necessidades, os fabricantes de máquinas a vapor foram aumentando a sua produção, com a natural evolução tecnológica, mas sempre com o *aumento da necessidade dos recursos energéticos, no caso o carvão*.

O carvão

Quanto ao carvão, refira-se que as grandes chaminés [49] na paisagem inglesa da primeira revolução industrial (fig. 41), representavam progresso e desenvolvimento económico ...

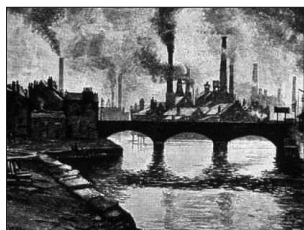


Fig. 41 - Ilustração da paisagem inglesa durante a Primeira Revolução Industrial (Fonte: [49]).
Fig. 41 - Illustration of the English landscape during the First Industrial Revolution (Source: [49]).

O petróleo

Quanto ao Petróleo, já era conhecido e utilizado de maneira rudimentar há séculos, mas o seu aproveitamento continuou a ser pouco expressivo.

Em 1846 foi perfurado o primeiro poço moderno de petróleo, no Azerbaijão, país que foi o maior produtor de petróleo no século XIX, com mais da metade da produção mundial.

Em 1850, *James Young* (1811-1883) (fig. 42) [50], químico escocês, descobriu que o petróleo podia ser extraído do carvão e do xisto betuminoso e *criou processos de refinação do petróleo*.

Também, entre outros, a Roménia, em 1857, e o Canadá, em 1858, se seguiram na exploração do petróleo.

Em 1859, nos EUA, foi perfurado o primeiro poço, à profundidade de 21 metros, tendo a data passado a ser considerada, pelos norte-americanos, a do *nascimento da moderna indústria petrolífera*.

Só nos EUA, desde o início da moderna produção de petróleo, a sua *produção passou de dois mil barris em 1859, para aproximadamente três milhões em 1863*.

O petróleo viria a ser mais um fator importante para o progresso da Humanidade no século XIX, e constituiria um impulso para a Segunda Revolução Industrial e uma base energética até aos nossos dias.

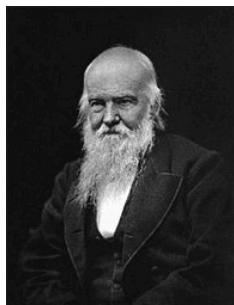


Fig. 42 - James Young (Fonte: [50]).

Fig. 42 - James Young (Source: [50]).

Consequências para o Ambiente da Primeira Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial utilizou o *carvão* como fonte de energia em quantidades massivas, o que causou grandes impactos no ambiente.

No entanto, foram necessários vários anos para descobrir os riscos do uso dessa fonte de energia.

Soube-se depois [2], que a queima de carvão para obtenção de energia produz efluentes altamente tóxicos, como o mercúrio e outros metais pesados, como vanádio, cádmio, arsénio e chumbo.

Além disso, a libertação de dióxido de carbono causa poluição na atmosfera, agravando o aquecimento global.

No entanto, a procura do carvão só reduziu no século XX (*Segunda Revolução Industrial*), com a difusão do emprego do petróleo como combustível, também poluente, e depois com a utilização do gás natural, menos poluente.

Podemos dizer-se que, *com o carvão, começou a questão ambiental* associada à poluição do ambiente pelos produtos energéticos de origem fóssil, que provocam tanta preocupação nos nossos dias.

É de referir, no entanto, que os avanços em produção e tecnologia foram o que nos permitiu descobrir novas fontes de energia renováveis.

A Segunda Revolução Industrial (1870 - 1969)

A primeira transportadora num matadouro em Cincinnati, EUA, em 1870, [39] é considerada o símbolo do início da Segunda Revolução Industrial, que se baseia na produção em massa, alcançada através do conceito de divisão de tarefas e ao uso da energia elétrica e do petróleo.

Sendo a evolução industrial um processo contínuo, após a conquista da energia do vapor, através do *motor de combustão externa*, o ser humano continuou a procura de *novas formas de energia*.

A Primeira Revolução Industrial aumentou a procura de carvão [8] que, como foi visto, só se reduziu no século XX, com a difusão do emprego do petróleo e da energia elétrica.

No século XX o petróleo ocupou o lugar de principal fonte de energia, superando o uso do carvão mineral, cuja importância, no entanto, continuou a ser bastante representativa no mundo.

Eletricidade

Quanto à eletricidade, a partir das ideias de Thales de Mileto, no século V a. C. [33], e das observações de William Gilbert, (1544 – 1603) [34], em 1600, começaram a surgir contributos para a evolução do seu conhecimento.

Assim, em 1730, Stephen Gray, (1666 - 1736) (fig. 43) [51], físico e astrónomo inglês, verificou que, além da eletrização por atrito, também era possível eletrizar corpos por contacto e chegou ao conceito de materiais que denominou *condutores e isolantes elétricos*, e fez a primeira experiência demonstrando ser possível a *condução de eletricidade* através de um grupo de materiais.



Fig. 43 - Stephen Gray (Fonte: [51]).

Fig. 43 - Stephen Gray (Source: [51]).

Em 1748, Benjamin Franklin (1706-1790) (fig. 44) [52], cientista e inventor dos EUA, propôs uma teoria que levou ao conceito de *positivo e negativo na eletricidade*, demonstrou que os raios são um fenómeno de natureza elétrica e descobriu, através da *garrafa de Leyden*, como é conhecida, o *tipo primitivo de condensador*.

Descobriu, também os dois “estados da eletricidade”, que depois batizou de *cargas positiva e negativa*, termos utilizados até hoje, e que um “fluido” escoava do corpo positivo (excesso) para o corpo negativo (deficiência). Este fluido hoje é chamado *corrente elétrica*.

Em 1752, descobriu o primeiro *pára-raios*. Em 1800, descobriu ainda a *pilha*, através da *produção de eletricidade por processos químicos*.

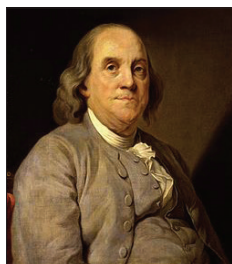


Fig. 44 - Benjamin Franklin (Fonte: [52]).

Fig. 44 - Benjamin Franklin (Source: [52]).

Em 1831, *Michael Faraday* (1791 - 1867) (fig. 45) [53], físico e químico britânico, considerado um dos cientistas mais influentes de todos os tempos, entre muitos estudos descobriu que *a variação na intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito fechado induz uma corrente numa bobina próxima*.

Também descobriu que a *introdução de um íman numa bobina produz uma corrente induzida*.

Descobriu, ainda, que uma bobina próxima a um íman que gira é *um gerador de corrente elétrica alternada*, sendo considerado o *pai do motor elétrico e do gerador elétrico*.

A *unidade de capacidade elétrica* do Sistema Internacional de Unidades é o “*fáraday*”, em sua homenagem.

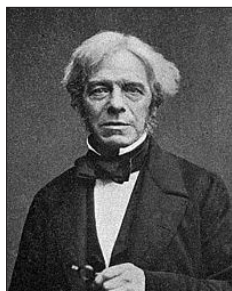


Fig. 45 - Michael Faraday (Fonte: [53]).

Fig. 45 - Michael Faraday (Source: [53]).

Em 1875 foi instalado um gerador para ligar as lâmpadas de arco na *Gare du Nord, em Paris*, tendo sido feitas máquinas a vapor para movimentar o gerador, que estimularam a invenção de *turbinas a vapor e de turbinas para geração de energia hidroelétrica*.

Paralelamente, foi sendo procurado cada vez mais carvão mineral, inicialmente apenas usado para aquecimento, e depois também para outros usos, não só como matéria-prima industrial, mas também para a produção de energia elétrica.

Em 1879, *Thomas Alva Edison* (1847 - 1931) (fig. 46) [54], autodidata, interessado em química e eletrônica, inventor, empresário e *um dos nomes mais conhecidos na história da eletricidade, criou a primeira lâmpada incandescente comercializável com filamento de carvão* (fig. 47).

Foi um dos inventores mais conhecidos de todos os tempos, com 1093 patentes.



Fig. 46 - Thomas Edison (Fonte: [54]).

Fig. 46 - Thomas Edison (Source: [54]).



Fig. 47 - Lâmpada incandescente de Edison (Fonte: [54]).

Fig. 47 - Edison Incandescent Lamp (Source: [54]).

Desenvolveu e construiu, entre muitos produtos, o primeiro *dinamo de potência* e o *contador de energia elétrica*.

Em 1880, fez o primeiro teste do seu *caminho de ferro movido a energia elétrica* nos Estados Unidos.

Em 1888, fundou a *Edison Electric Light Company*, que posteriormente passou a ser a grande *GE - General Electric*.

Também em 1880, *Herman Hollerith* (1860-1929) (fig. 48) [74], empresário americano, foi o principal impulsionador *do leitor de cartões perfurados em código BCD (Binary Coded Decimal), essencial para a entrada de informação para os computadores da época, certamente inspirado nos cartões perfurados do Tear de Jacquard*.

Os cartões perfurados, anteriormente inventados em 1725 por Basile Bouchon, para os teares [5], continuariam a ser usados nos computadores até aos anos 70 do século XX e nos teares Jacquard até aos anos 90, só tendo sido substituídos por sistemas electrónicos.

Foi também *um dos fundadores da IBM* e precursor do processamento de dados.

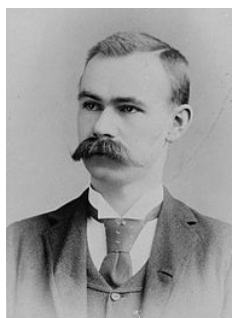


Fig. 48 - Herman Hollerith (Fonte: [74]).

Fig. 48 - Herman Hollerith (Source: [74]).

Em 1886, *Nikola Tesla* (1856 -1943) (fig. 49) [55], inventor nos campos da engenharia mecânica e eletrotécnica, sérvio, referido como o maior gênio inventivo de todos os tempos, lançou as bases dos *modernos sistemas de potência elétrica em corrente alternada*.

Assim, foi autor dos *sistemas polifásicos de distribuição de energia*, do *motor de Corrente alternada* e do primeiro grande aproveitamento de Niagara Falls (*primeira central hidroelétrica nos Estados Unidos*) com o que, entre muitos outros inventos, *contribuiu para a introdução da Segunda Revolução Industrial*.

A unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) que mede a densidade do fluxo magnético ou a indução eletromagnética, geralmente conhecida como “B”, é o “tesla”, em sua homenagem.

Em 1888, *Heinrich Rudolf Hertz* (1857-1894) (fig. 50) [56], físico alemão, demonstrou a existência das *ondas eletromagnéticas imaginadas por James Maxwell*, criando aparelhos emissores e detectores de ondas de rádio, e estabeleceu as *bases para o desenvolvimento futuro de rádio, telefone, telégrafo e até da televisão*.

Demonstrou também que as ondas de radio e as ondas luminosas diferem apenas na sua frequência.

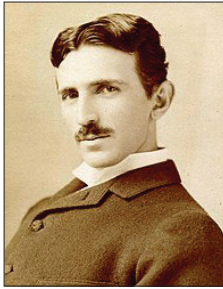


Fig. 49 - Nikola Tesla (Fonte: [55]).
Fig. 49 - Nikola Tesla (Source: [55]).



Fig. 50 - Heinrich Hertz (Fonte: [56]).
Fig. 50 - Heinrich Hertz (Source: [56]).

Em 1864, *James Clerk Maxwell* (1831 - 1879) (fig. 51) [57], físico e matemático escocês, *deu forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, traduzindo as teorias de Faraday em expressões matemáticas*, sendo considerado um dos melhores matemáticos da história.

Maxwell demonstrou que os campos elétricos e magnéticos se propagam com a velocidade da luz e que as forças elétricas e magnéticas têm a mesma natureza.

Em sua homenagem, a unidade de fluxo magnético do SI é o “*Maxwell*”.



Fig. 51 - Clerk Maxwell (Fonte: [57]).
Fig. 51 - Clerk Maxwell (Source: [57]).

Em 1893, *George Westinghouse, Jr.* (1846 - 1914) (fig. 52) [58], empresário e engenheiro dos EUA, recebeu o contrato para construir os primeiros geradores nas Cataratas do Niágara, tendo comprado a patente da invenção dos transformadores de potência a Willam Stanley.

Inventou o sistema de freio para parar os comboios, entre muitas patentes que recebeu.

Em 1869 fundou a *Westinghouse Air Brake Company*.

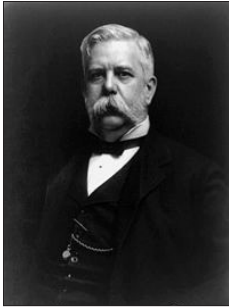


Fig. 52 - George Westinghouse (Fonte: [58]).

Fig. 52 - George Westinghouse (Source: [58]).

Energia nuclear

Quanto à energia nuclear, cerca de 1300 anos depois da primeira abordagem [32], passou a constituir mais uma conquista do ser humano na sua permanente caminhada pela obtenção de energia.

Em 1896, *Antoine Henri Becquerel* (1852-1908) (fig. 53) [59], engenheiro civil e físico francês, foi o responsável pelos estudos que levaram à descoberta de que certas substâncias, como os sais de urânio, produzem *radiação penetrante de uma fonte desconhecida*, pelo que lhe foi atribuído o Prémio Nobel.

Em 1896, Becquerel incentivou *Marie Curie* [60] a estudar as radiações emitidas pelos sais de urânio, que por ele tinham sido descobertas.

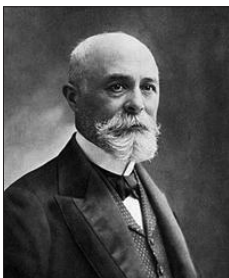


Fig. 53 - Antoine-Henri Becquerel (Fonte: [59]).

Fig. 53 - Antoine-Henri Becquerel (Cast: [59]).

Marie Skłodowska Curie (1867 - 1934) [60], cientista polaca naturalizada francesa, conduziu pesquisas pioneiras no ramo da radioatividade. *Foi a primeira mulher*

a ser laureada com o Prémio Nobel, e o termo *radioatividade* foi proposto por ela, com o seu marido Pierre Curie, também cientista laureado.

Em 1905, *Albert Einstein* (1879-1955) (fig. 54) [61], físico teórico alemão, provou, através da sua fórmula: $E=mc^2$ (E = energia, M = massa e C = velocidade da luz, que é cerca de 300 000 km por segundo), que *um grama de massa pode ser convertida numa enorme quantidade de energia*.

Esta teoria viria a dar origem à *energia atómica*, fundamental para a *produção de energia eléctrica*.

Também, entre outras, desenvolveu a teoria da relatividade geral, um dos pilares da física moderna, ao lado da *mecânica quântica* e, embora mais conhecido pela sua fórmula de equivalência massa-energia, $E=mc^2$, a que foi chamada “*a equação mais famosa do mundo*”, foi laureado com o Prémio Nobel, em especial pela sua *descoberta da lei do efeito fotoelétrico*, fundamental para a teoria quântica.

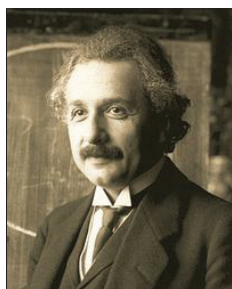


Fig. 54 - Albert Einstein (Fonte: [61]).

Fig. 54 - Albert Einstein (Source: [61]).

Em 1918, *Otto Hahn* (1879-1968) (fig. 55) [62], químico e físico alemão e *estudioso da radiação*, fez a descoberta vital que levou ao *primeiro reator nuclear* e às *centrais nucleares para produção de energia eléctrica*.

Descobriu o processo de *fissão nuclear* através do qual núcleos de átomos de elementos pesados podem entrar em núcleos menores, *libertando no processo grandes quantidades de energia*, tendo sido premiado com o Prémio Nobel de Química, em 1944.

A energia libertada numa reação nuclear [63], ou seja, em processos de transformação de núcleos atómicos, baseia-se no princípio da *equivalência massa-energia de Einstein*.

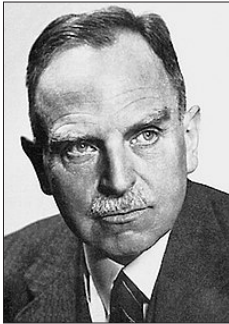


Fig. 55 - Otto Hahn (Fonte: [62]).

Fig. 55 - Otto Hahn (Source: [62]).

Atualmente a tecnologia nuclear, para além da função bélica, tem como uma das principais finalidades *gerar energia elétrica*, aproveitando o calor emitido na reação, para aquecer água até se tornar vapor e assim movimentar uma turbina a vapor acoplada a um gerador.

A reação nuclear pode acontecer controladamente num reator de central termonuclear (*fissão nuclear*) (fig. 56), ou descontroladamente numa bomba atômica (reação em cadeia).

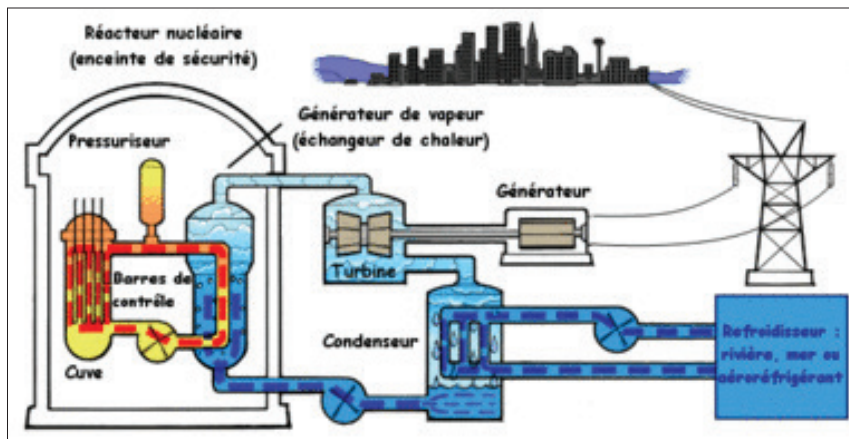


Fig. 56 - Método esquemático para obtenção da energia elétrica por fonte nuclear (Fonte: [63]).

Fig. 56 - Schematic method for obtaining the electric energy by nuclear source (Source: [63]).

Eletrónica

Quanto à eletrónica [64], a sua origem e desenvolvimento foi feito na sequência dos estudos da eletricidade.

Em 1897, *Joseph John Thomson* (1856 - 1940) [65], físico e engenheiro britânico, *descobriu o eletrão*, verificando que o “fluido” referenciado por Franklin era o movimento ordenado de eletrões, ou *corrente elétrica*, tendo recebido o Nobel de Física

Em 1902, *John Ambrose Fleming* (1849 - 1945) (fig. 57) [66], físico e engenheiro eletrotécnico inglês, inventou o *díodo de emissão termoiónica* (válvula de Fleming), e projetou o rádio transmissor com o qual foi feita a *primeira transmissão transatlântica de rádio*.

O invento de Fleming é de tal importância que se pode afirmar que a *“válvula de Fleming”* é o marco inicial de toda a história da eletrónica.

Antes da primeira guerra mundial, o rádio passou a fazer parte do quotidiano.



Fig. 57 - John Ambrose Fleming (Fonte: [66]).

Fig. 57 - John Ambrose Fleming (Source: [66]).

Gás natural

Quanto ao gás natural, continuou a haver desenvolvimentos para o seu aproveitamento, desde a antiguidade, como foi visto.

No *século XVIII* aparece, na China, um dos primeiros registos históricos [67] de uso económico ou socialmente aproveitável do gás natural.

Os chineses utilizaram locais de escape de gás natural mineral para construir altos-fornos destinados à cerâmica e à metalurgia, de forma ainda rudimentar.

No *século XIX*, o gás natural foi normalmente obtido como subproduto do petróleo. Nessa época o gás natural não era muito utilizado e toda a produção era indesejada, pelo que se tornava um grande *problema de rejeição para as fábricas de petróleo*.

Também, o seu *aproveitamento era difícil*, porque as técnicas de construção de gasodutos eram incipientes, não havendo transporte de grandes volumes a longas distâncias e sendo, por isso, *pequena a participação do gás em relação ao petróleo e ao carvão*.

Em 1885, *Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen* (1811 - 1899) [68], químico alemão, aperfeiçoou um queimador, conhecido atualmente como *bico de Bunsen*, anteriormente inventado por Michael Faraday (1791-1867) [69], físico e químico britânico.

O bico de Bunsen foi o dispositivo que permitiu a utilização do gás natural em maior escala na Europa, no final do século XIX, em especial após a construção de um gasoduto à prova de vazamentos, em 1890, já como alternativa aos produtos energéticos existentes, em especial o carvão e o petróleo.

Motor de combustão interna

Quanto ao motor de combustão interna, deve o seu aparecimento à agregação de cada vez mais conhecimentos anteriores, nomeadamente do motor a vapor, bem como a novas ideias e recursos, que permitiram que fosse iniciada uma *nova etapa da conquista da energia*.

Assim, em 1858, *Jean Joseph Étienne Lenoir* (1822-1900) (fig. 58) [70], engenheiro belga, inventou o *motor de combustão interna*, de 2 tempos, *a gás natural*, o primeiro motor a ter sucesso comercial (fig. 59).

Apesar do sucesso comercial, verificou-se que era pouco eficiente e muito ruidoso.



Fig. 58 - Jean Lenoir (Fonte: [70]).
Fig. 58 - Jean Lenoir (Cast iron: [70]).

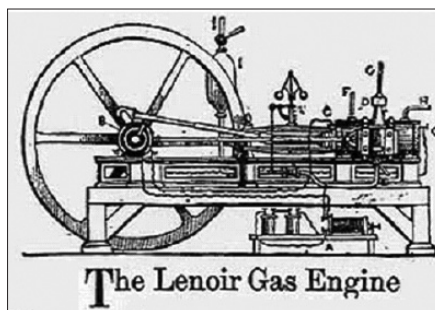


Fig. 59 - Motor Lenoir, de combustão interna e a gás natural (Fonte: [70]).
Fig. 59 - Lenoir engine, internal combustion and natural gas (Source: [70]).

Em 1876, *Nikolaus August Otto* (1832-1891) (fig. 60) [71], engenheiro e físico alemão, inventou o *motor de combustão interna a gasolina (ciclo Otto)*, de quatro tempos, que patenteou em 1878 e que teve sucesso comercial, tendo vendido dezenas de milhares de motores em poucos anos.

Depois da sua criação, o *motor de combustão interna de quatro tempos* passou a ser o padrão para a maioria dos desenvolvimentos que vieram a seguir e atravessou os séculos, impulsionando as formas de tração mecânica até aos nossos dias.



Fig. 60 - Nikolaus Otto (Fonte: [71]).
Fig. 60 - Nikolaus Otto (Source: [71]).

Em 1886, *Karl Friedrich Michael Benz* (1844-1929) (fig. 61) [72], engenheiro de automóveis alemão, inventou o *automóvel movido a gasolina* (fig. 62), o Benz Motorwagen tal como o conhecemos atualmente.

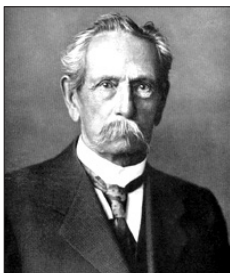


Fig. 61 - Karl Benz (Fonte: [72]).

Fig. 61 - Karl Benz (Source: [72]).



Fig. 62 - Benz Motorwagen (Fonte: [72]).

Fig. 62 - Benz Motorwagen (Source: [72]).

Em 1893 *Rudolf Christian Karl Diesel* (1858-1913) (fig. 63) [73], engenheiro mecânico alemão, *inventou o motor de ignição por compressão (motor diesel)* (fig. 64), em que a combustão se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão do ar, por autoignição.

O motor Diesel destaca-se ainda hoje pela economia de combustível e, portanto, de energia.



Fig. 63 - Rudolfo Diesel (Fonte: [73]).

Fig. 63 - Rudolfo Diesel (Source: [73]).

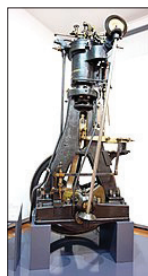


Fig. 64 - Primeiro Motor Diesel de 1893 (Fonte: [73]).

Fig. 64 - First Diesel Engine of 1893 (Source: [73]).

Aviação

Quanto à aviação, o desenvolvimento de máquinas que permitissem que o ser humano voasse, depois dos inventos de Bartolomeu de Gusmão, continuou incessante.

Em 1852, *Henri Giffard*, (1825-1882) (fig. 65) [75], engenheiro e inventor francês, inventou o injetor e o balão motorizado e *inventou e controlou o voo do primeiro dirigível usando um motor a vapor* (fig. 66).



Fig. 65 - Henri Giffard (Fonte: [75]).

Fig. 65 - *Henri Giffard* (Cast: [75]).

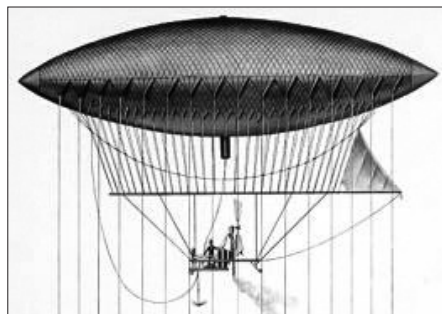


Fig. 66 - O dirigível de Giffard (Fonte: [75]).

Fig. 66 - *The Giffard airship* (Source: [75]).

Em 1896, *Samuel Pierpont Langley* (1834 -1906) (fig. 67) [76], astrónomo, físico e inventor americano, construiu um protótipo de avião e fez o primeiro voo bem sucedido de uma aeronave mais pesada do que o ar, tendo voado aproximadamente mil metros, mas levantando voo sem tripulantes.

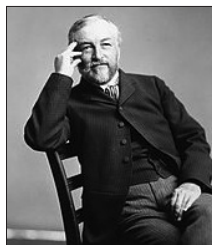


Fig. 67 - Samuel Langley (Fonte: [76]).

Fig. 67 - *Samuel Langley* (Source: [76]).

Em 1901, *Alberto Santos Dumont* (1873-1932) (fig. 68) [77], aeronauta, desportista e inventor brasileiro, projetou, construiu e voou os primeiros balões dirigíveis, *com motor a gasolina*, em circuito pré-estabelecido e testemunhado.

O seu voo contornou a Torre Eiffel (fig. 69) [78], tendo conquistado o Prémio Deutsch em 1901.

Em 1906, voou 220m no seu 14-bis (fig. 70) [79], tendo ganho o prémio do *Aero Club de France* para o primeiro voo motorizado com mais de 100 metros (fig. 71) [80].

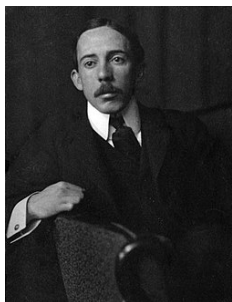


Fig. 68 - Alberto Santos Dumont (Fonte: [77]).

Fig. 68 - Alberto Santos Dumont (Source: [77]).



Fig. 69 - Santos Dumont contornando a Torre Eiffel (Fonte: [78]).

Fig. 69 - Santos Dumont skirting the Eiffel Tower (Source: [78]).



Fig. 70 - 14-bis puxado por um asno durante testes (Fonte: [79]).

Fig. 70 - 14-bis pulled by a donkey during tests (Source: [79]).



Fig. 71 - Voo do Santos-Dumont 14-bis em 12 de novembro de 1906 (Fonte: [80]).

Fig. 71 - Flight of Santos-Dumont 14-bis on November 12, 1906 (Source: [80]).

Em 1909, *Charles Joseph Blériot* (1872-1936) (fig. 72) [81], aviador, engenheiro e inventor francês, projetou e pilotou uma aeronave, o Blériot XI (fig. 73), com a qual realizou o primeiro voo internacional da história.

O voo partiu de Les Barraques (perto de Calais), na França, percorreu 35 quilômetros em 37 minutos, e chegou a Dover, na costa sul da Inglaterra.

Refira-se, a propósito da travessia aérea, a declaração do imperador *Guilherme II da Alemanha*, que se tornou famosa na época: “A Inglaterra já não é uma ilha”.



Fig. 72 - Louis Blériot
(Fonte: [81]).

*Fig. 72 - Louis Blériot
(Source: [81]).*



Fig. 73 - Motor do avião a ser acionado antes da travessia aérea (Fonte: [81]).

Fig. 73 - Motor of the airplane to be fired before the aerial crossing (Source: [81]).

Em 1910, os irmãos *Wright* (fig. 74) [82] fizeram o *primeiro voo comercial do mundo*, entre Dayton e Columbus.

O voo, que durou uma hora e dois minutos, percorreu 100 km e rompeu um novo recorde de velocidade, tendo alcançado 97 km/h.



Orville Wright



Wilbur Wright

Fig. 74 - Os irmãos Wright em 1890
(Fonte: [82]).

*Fig. 74 - The Wright Brothers in 1890
(Source: [82]).*

Gás natural

Retomando o gás natural [83], a partir de 1927, com o avanço da tecnologia da utilização do gás natural, depois do invento do bico de Bunsen, começaram a ser

construídos gasodutos nos EUA, primeiro dentro dos Estados e, a partir de 1930, com alcance interestadual.

É de 1935 a primeira normalização para o transporte e distribuição de gás natural nos EUA (ANSI/ASMEFDP B31.8)

Até 1960, o grande crescimento das construções no pós-guerra foi responsável pela instalação de milhares de quilômetros de gasodutos, pelo que o gás natural passou a ser utilizado em grande escala por vários países, destacando-se os EUA, o Canadá, o Japão e os principais países Europeus, devido às *inúmeras vantagens econômicas e ambientais que o gás natural apresenta*.

Novas máquinas

A procura incessante de novas máquinas e de melhoria das existente para novas utilizações, *em especial para a melhoria da eficiência energética*, continuou a ser o desígnio humano.

Foi assim que, em 1930, *Frank Whittle* (1907 – 1996) (fig. 75) [84], oficial piloto aviador e inventor da Real Força Aérea Britânica, *inventou o motor a jato (ou a reação)*.



Fig. 75 - Frank Whittle (Fonte: [84]).

Fig. 75 - Frank Whittle (Source: [84]).

O motor a reação (fig. 76) [85] *veio a ser utilizado como motor aeronáutico* até aos nossos dias.



Fig. 76 - Motor a jato (Fonte: [85]).

Fig. 76 - Jet engine (Source: [85]).

Em 1937, *Hans Joachim Pabst von Ohain* (1911 – 1998) (fig. 77) [86], físico alemão, *projetou o primeiro motor a jato pronto para ser usado em avião.*

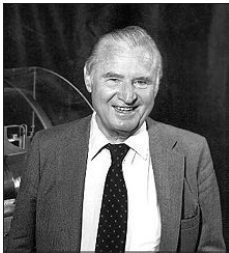


Fig. 77 - Hans von Ohain (Fonte: [86]).

Fig. 77 - Hans von Ohain (Fonte: [86]).

Em 1939, *Ernst Heinkel* (1888 – 1958) (fig. 78) [87], projetista e construtor de aviões alemão, *fabricou o primeiro avião com motor a jato, que descolou de Rostock.*



Fig. 78 - Ernst Heinkel (Fonte: [87]).

Fig. 78 - Ernst Heinkel (Source: [87]).

Já em 1936, *Alan Mathison Turing*, (1912-1954) (fig. 79) [89] matemático, lógico, criptoanalista e cientista da computação britânico, tinha iniciado o estudo da informação

através da matemática, tendo sido influente no desenvolvimento da ciência da computação, na *formalização do conceito de algoritmo* e na computação com a *máquina de Turing*, que criou e que, *de acordo com um sistema formal, poderia fazer operações computacionais*.

Desempenhou também um papel importante na *criação do computador moderno*, *foi pioneiro na inteligência artificial* e é conhecido como o *pai da computação*.

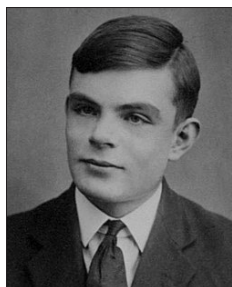


Fig. 79 - Alan Mathison Turing (Fonte: [89]).

Fig. 79 - Alan Mathison Turing (Source: [89]).

Em 1957, *Karl Steinbuch*, (1917-2015) [90], engenheiro eletrotécnico e cientista da computação alemão, um dos pioneiros da ciência informática alemã, *estabeleceu o termo informática* (processamento automático de informação).

O termo informática em Portugal é geralmente usado como sinónimo de ciência da computação.

A Energia na Segunda Revolução Industrial

O carvão teve crescente utilização na Primeira Revolução Industrial [8], que só foi reduzida no século XX, com a difusão do emprego do petróleo como combustível. No entanto o petróleo [91], apesar de ter ocupado o lugar de principal fonte de energia no século XX, não retirou a importância do carvão mineral, que continuou a ser muito importante e representativo no mundo.

A moderna indústria petrolífera data de meados do século XIX, tendo sido perfurado, em 1846, o primeiro poço de petróleo no Azerbaijão, como visto anteriormente.

Consequências para o Ambiente da Segunda Revolução Industrial.

Já foram vistas, a propósito dos recursos energéticos necessários para a Primeira Revolução Industrial, as consequências ambientais referentes ao carvão [8].

Quanto ao uso do petróleo, quando queimado também liberta dióxido de carbono, o que, em conjunto com a queima de carvão, contribui fortemente para o aumento do CO₂ atmosférico.

De realçar que o CO₂ tem aumentado ao longo dos últimos 150 anos para os níveis atuais de mais de 390 ppmv, quando nos últimos 800 000 anos apenas passou de 180 para 300 ppmv.

Para a história ficou o “*grande nevoeiro de 1925*” quando, com o aumento do uso do carvão, a poluição atmosférica causou elevado número de mortes e deixou milhares de doentes em Londres.

A Terceira Revolução Industrial (1969 - 2012)

Convencionalmente [39], baseia-se na utilização da electrónica e da informática (TI - Tecnologias da Informação) para promover a produção automatizada.

Simbolicamente, é associada à invenção do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) Modicon 084, em 1969, fundamentado no uso da electrónica, tendo sido liderada pelos EUA.

Esta Terceira Revolução Industrial também usou novos recursos energéticos, como o nuclear e os novos renováveis.

Controlador Lógico Programável

Quanto ao Controlador Lógico Programável [92], constituiu mais um passo importante para melhorar a *obtenção, utilização e controlo da energia.*

Em 1968, Richard E. “Dick” Morley (1932 – 2017) (fig. 80) [93], engenheiro mecânico dos EUA, criou o CLP (*Modicon 084*) sendo por isso considerado o *pai do Controlador Lógico Programável* (PLC - *programmable logic controller*).

O PLC *substituiu o controlo baseado em relés na automação industrial*, revolucionando-a pela criação de novas possibilidades em espaço ocupado, tempo de resposta e quantidade de informação disponibilizável, dando um *impulso notável para o início da chamada Terceira Revolução Industrial*.

Em consequência, nos nossos dias, o PLC pode ser encontrado em tudo, desde equipamentos de fábrica até máquinas de “vending”.

Assim, a Terceira Revolução Industrial [94] foi, mais uma vez, *no processo histórico da energia e da humanidade*, o resultado da integração do saber acumulado, mas agora com diminuição do tempo de evolução.

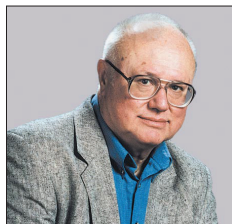


Fig. 80 - Dick Morley (Fonte: [93]).

Fig. 80 - Dick Morley (Source: [93]).

A *Integração desde a ciência à tecnologia e à produção*, com o objetivo de otimizar a utilização conjunta do conhecimento, cada vez mais vasto, e dos *recursos energéticos*, cada vez mais sofisticados, permitiu aumentar rapidamente, quer a produção de produtos já existentes quer, principalmente, a criação e disponibilização de novos produtos a serem consumidos na indústria, na agricultura, no comércio, etc.

Em geral, para suporte desta nova visão da sociedade, foram criados *polos tecnológicos* para proporcionar tecnologias acessíveis à sociedade, tais como: *Vale do silício* nos EUA, *Tsukuba* no Japão, *Vale do Ruhr* na Alemanha ou *Toullouse* na França.

As tecnologias visaram, de modo acelerado e com exigência de recursos humanos mais qualificados, baixar custos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos e do trabalho, através da expansão significativa do *processamento de dados* que permitiram nomeadamente a *gestão e o controlo da qualidade*.

Algumas das áreas a destacar são: a biotecnologia, a bioquímica, a genética, a electrónica, o aeroespacial, a microelectrónica, as telecomunicações, a internet, os *smartphones*, etc..

Mas, apesar das otimizações permitidas pelas novas tecnologias, o *consumo de energia*, em geral, e a *dependência da sociedade humana relativa à energia elétrica* em particular, foram aumentando.

Eletrónica

Quanto à eletrónica [95], continuou a sua evolução acelerada desde 1902 e passou a poder ser considerada, de modo simplificado, a *ciência* que estuda a forma de *controlar a energia elétrica por meios elétricos, nos quais os elétrons têm papel fundamental*.

Tal controlo teve por objetivo principal *representar, armazenar, transmitir ou processar informações*, além do controlo de processos e servomecanismos, abrangendo também os circuitos internos dos computadores, os sistemas de telecomunicações, os sensores, os transdutores, etc..

A *eletrotecnia*, por outro lado, passou a ser, de modo mais geral, o *ramo da ciência* que estuda o uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrónicos, com o objetivo principal de *transformar, transmitir, processar e armazenar energia*, incluindo todas as centrais de produção de energia elétrica, como hidroelétricas, termoelétricas, eólicas, solares, biomassa, biogás, etc., as linhas de transmissão, os transformadores, os retificadores e inversores, as baterias, etc..

Inclui ainda os mais diversos ramos que a abrangem, como a transmissão da corrente elétrica no vácuo e nos semicondutores, e ainda os fenómenos das cargas elétricas elementares, as propriedades e comportamento dos elétrons, fótons, partículas elementares, ondas eletromagnéticas, etc..

Em 1958, *Jack Kilby* (1923-2005) (fig. 81) [96], engenheiro eletrotécnico americano, demonstrou, com sucesso, o *primeiro circuito integrado em funcionamento* e, pela sua parte na invenção, foi-lhe atribuído o Prémio Nobel, no ano 2000.

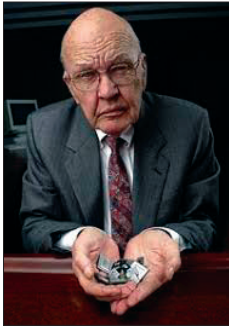


Fig. 81 - Jack Kilby (Fonte: [96]).

Fig. 81 - Jack Kilby (Source: [96]).

O circuito integrado (fig. 82) foi desenvolvido enquanto trabalhava na Texas Instruments.

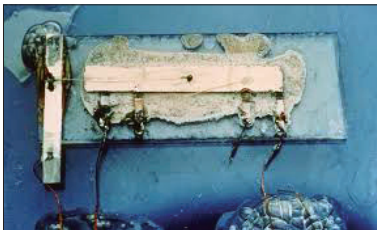


Fig. 82 - Circuito integrado original de Jack Kilby (Fonte: [96]).

Fig. 82 - Jack Kilby's original integrated circuit (Source: [96]).

Jack Kilby foi também *pioneiro nas aplicações militares, industriais e comerciais do microchip* e liderou equipas que criaram o primeiro computador que incorporou circuitos integrados e participou na invenção da primeira máquina de calcular de mão.

Em 1970, entre muitos trabalhos, explorou o uso da tecnologia do silício para *geração de energia elétrica a partir do sol*.

Na década de 1980, com base no circuito integrado [97], continuou a rápida evolução da eletrónica com a integração de componentes, primeiro em larga escala (LSI - Large Scale Integrating,) e depois em muito larga escala (VLSI - Very-Large-Scale Integration), a que se seguiu, na década de 1990, o aparecimento dos micro-processadores de alta velocidade (fig. 83).

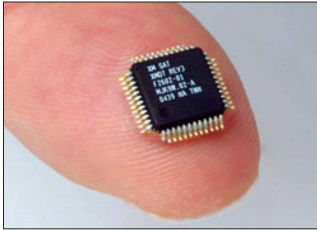


Fig. 83 - Tamanho natural de um Chip (Fonte: [97-A]).

Fig. 83 - Natural size of a Chip (Source: [97-A]).

A partir de 2000, a electrónica entrou na era da nanotecnologia, onde os componentes electrónicos se comportam de maneira diferente dos da electrónica convencional, mais uma vez com *novas exigências, entre outras, no âmbito da energia elétrica.*

Em 1980, o *tear mecânico, símbolo da Primeira revolução industrial*, apesar das sucessivas inovações introduzidas, nomeadamente com a inclusão de cartões perfurados Jacquard, e muitas outras, só com a tecnologia da Terceira Revolução Industrial se tornou 100% automático.

Telecomunicações

Quanto às telecomunicações, também tiveram um crescimento paralelo à electrónica, passaram a ser globais, através dos satélites, e transformaram a vida humana, sobretudo com a melhor utilização dos computadores industriais e computadores pessoais com o recurso à internet.

Viabilizaram, entre muitas outras coisas, o aparecimento do GPS - *global positioning system*, que mudou a forma de locomoção e de visualização do espaço físico da Terra.

Informática

Depois dos desenvolvimentos em 1880, por *Herman Hollerith* [74], em 1936, por *Alan Mathison Turing*, [89] e com a inclusão da electrónica, foram feitos grandes

avanços na informática. A informática [98], passou a assumir-se como a convergência de várias áreas do conhecimento já autonomizadas como ciências e que, agregadas, e dito de um modo muito geral, se passou a dedicar ao *estudo do conjunto de informações e conhecimentos por meios digitais* e à sua aplicação.

A *robótica* é o principal exemplo do uso crescente de *recursos informáticos* nos processos de produção industrial.

A Energia na Terceira Revolução Industrial

Verificou-se o *aumento dos consumos energéticos* [99], com a utilização simultânea das várias fontes de energia disponíveis (antigas e novas), como o carvão, o petróleo, a hidroelétrica, a nuclear, a eólica, a solar, a biomassa, o biogás, etc..

Por outro lado, a Terceira Revolução Industrial é marcada pela infinidade de transformações tecnológicas [100], com incidência direta na utilização dos recursos energéticos, e pela concentração crescente da população em espaços urbanos, tendo como principais *fontes de energia*, a eletricidade, os combustíveis fósseis (com origem no petróleo) e os novos combustíveis resultantes da biotecnologia.

Preocupações com o Ambiente, na Terceira Revolução Industrial

Ambiente

A partir da década de 1970, pelas evidências científicas cada vez mais divulgadas [101], começaram as *preocupações com o Ambiente*, (aquecimento global, efeito estufa, buraco na camada de ozono, desmatamentos, extinção de espécies animais, etc.), assumidas como tendo origem, em grande parte, pelo uso da energia nas revoluções industriais.

Em consequência, especialmente a partir da *década de 1990*, começou a aumentar a preocupação social no sentido da *diminuição do uso das fontes de energia poluidoras* e do *aumento do uso de energias mais limpas*.

Apesar da quantidade de informação ter evidente crescimento, *foi na terceira revolução industrial* [102] que se verificou a substituição de invenções milenares, como o próprio papel, só possível pelas tecnologias disponíveis, nomeadamente a electrónica e a informática, telecomunicações e, naturalmente, a *energia elétrica*.

É com base na *fiabilidade e credibilidade conseguidas pelas novas tecnologias*, que é permitido, à sociedade contemporânea, *assumir os registos electrónicos como procedimentos e documentos formais*, transmissíveis e controláveis em todo o mundo .

Energia nuclear

Quanto à energia nuclear (fig. 84), como será visto mais à frente no presente trabalho, pela sua indiscutível importância para a humanidade, por muito que seja polémica a sua aceitação ou recusa, obriga a uma abordagem realista.

Assim, trata-se de uma energia com vantagens e desvantagens, sempre com grandes exigências de melhoria contínua, de contexto e tecnológicas.

A principal vantagem da *energia nuclear para produção de eletricidade* [103] é não utilizar combustíveis fósseis, e portanto não contribuir para o aquecimento global.

Também, comparativamente com as centrais hidroelétricas, não necessita de utilização de grandes áreas para a construção de albufeiras nem depende da hidrologia, sendo portanto imune às alterações climáticas.



Fig. 84 - Central de energia nuclear, em que as torres de arrefecimento libertam vapor não radioativo (Fonte: [103]).

Fig. 84 - Nuclear power plant, in which cooling towers release non-radioactive vapor (Source: [103]).

Uma das *grandes desvantagens* vem do resíduo radioativo das centrais nucleares, que embora normalmente baixo, representa um problema, já que tem “semivida” de 24 000 anos, sendo por isso necessário que fique confinado em depósitos próprios, onde não possa haver nem interferência humana externa nem interferência ambiental, nomeadamente para evitar vazamentos.

Outra *grande desvantagem*, em caso de acidente grave, são as consequências catastróficas e *sem solução previsível no tempo*.

Entre os *acidentes mais graves* está o de *Chernobil*, em 1986, onde, desde a central sinistrada (fig. 85) até 180 quilómetros de distância, ficaram áreas com contaminação superior a 1,5 milhões de Becquerel por km², o que as deixa *inabitáveis por milhares de anos*, a não ser que surja alguma nova tecnologia para descontaminação.



Fig. 85 - Imagem da central de Chernobil após a explosão do reator (Fonte: [104]).

Fig. 85 - Image of the Chernobyl power plant after the reactor explosion (Source: [104]).

Outro *acidente, mais recente*, foi o de *Fukushima I*, em 2011 (fig. 86) [104A], que levou à evacuação de cerca de 300 000 pessoas, também com sérios danos em terra e no mar.



Fig. 86 - Imagem dos reatores danificados na central Fukushima I (Fonte: [104-A]).

Fig. 86 - Image of damaged reactors in central Fukushima I (Source: [104-A]).

Energia hidroelétrica

Quanto à energia hidroelétrica, também não está isenta de grandes riscos, com consequências por vezes catastróficas, embora *sem contaminação incontrolável no tempo*.

Em 2018 ocorreu um dos acidentes mais recentes, no Laos, na província de Attapeu, em que a barragem hidroelétrica de Xepian-Xe Nam Noy, (fig. 87) [105] com uma potência de 410 megawatt, acabada de construir, colapsou e libertou milhões de toneladas de água.



Fig. 87 - Barragem antes do colapso (Fonte: [105]).

Fig. 87 - Dam before collapse (Source: [105]).

A enxurrada provocou a morte de dezenas de pessoas e centenas de desaparecidos, destruindo ainda milhares de casas e deixando mais de 6 600 pessoas desalojadas (fig. 88) [126].



Fig. 88 - Povoação Submersa (Fonte: [126]).

Fig. 88 - Submerged Population (Source: [126]).

A Quarta Revolução Industrial

Geralmente associa-se à indústria conectada, baseada no uso de sistemas físicos cibernéticos (CPS - cyberphysical systems), ou seja, em sistemas compostos por elementos

computacionais colaborativos com o objetivo de controlar entidades físicas, que visam alcançar o conceito de fábricas inteligentes (smart factories) [39].

Indústria 4.0

A Indústria 4.0, agora “Quarta Revolução Industrial” [106], é uma expressão que engloba algumas tecnologias para automação e troca de dados e utiliza conceitos de Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, etc., com vista à *informatização da manufatura*.

A designação “Indústria 4.0” apareceu pela primeira vez em Outubro de 2012, usada pelo Grupo de Trabalho na Indústria 4.0, presidido por Siegfried Dais (da Robert Bosch GmbH) e Henning Kagermann (da Academia Alemã de Ciências e Engenharia), que apresentaram um conjunto de recomendações para a sua implementação ao Governo Federal Alemão.

Em Abril de 2013, na Feira de Hannover, foi apresentado o relatório final do novamente designado “*Grupo de Trabalho da Indústria 4.0*”.

Informatização da manufatura

A Quarta Revolução Industrial ou *informatização da manufatura* [107], é a natural evolução da terceira revolução industrial, sempre, como as outras, com mudanças abruptas, *no caso com a introdução da revolução digital*, mas integrando o conhecimento anterior.

Recapitulando as revoluções industriais, *a primeira* mobilizou a mecanização da produção usando água e energia do vapor, *a segunda* introduziu a produção em massa com a ajuda da energia elétrica, *a terceira* trouxe a revolução digital e *a quarta* está a trazer a revolução digital e o uso de aparelhos e dispositivos electrónicos, bem como *tecnologia da informação* para automatizar ainda mais a produção.

Para este efeito pode definir-se *tecnologia da informação* (TI) [108] como o conjunto de todas as atividades e soluções providas de recursos de computação que visam a produção, o armazenamento, a transmissão, o acesso, a segurança e o uso das informações.

Em 2012, os *princípios de Projeto* para a indústria 4.0 eram os seguintes:

- *Interoperabilidade*: a habilidade dos sistemas ciberfísicos (suporte de peças, estações de montagem e produtos), dos humanos e das Fábricas Inteligentes de se conectarem e de comunicarem entre si através da Internet e da Computação em Nuvem;
- *Virtualização*: é criada uma cópia virtual das Fábricas Inteligentes por sensores de dados interconectados (que monitorizam processos físicos) com modelos de plantas virtuais e modelos de simulação;
- *Descentralização*: a habilidade dos sistemas ciberfísicos das Fábricas Inteligentes de tomarem decisões sem intervenção humana;
- *Capacidade em Tempo-Real*: a capacidade de coletar e analisar dados e entregar conhecimento derivado dessas análises imediatamente;
- *Orientação a Serviço*: oferta dos serviços (dos sistemas ciberfísicos, humanos ou das Indústrias Inteligentes) através da Computação em Nuvem;
- *Modularidade*: adaptação flexível das Fábricas Inteligentes para requisitos mutáveis através da reposição ou expansão de módulos individuais.

Entendendo a Indústria 4.0 como mais uma evolução natural, *mas mais abrupta e radical, dos sistemas produtivos industriais* [109], puderam ser listados alguns *benefícios previstos e já estudados*, baseados no impacto nas fábricas:

- Redução de Custos.
- Economia de Energia.
- Aumento da Segurança.
- Conservação Ambiental.
- Redução de Erros
- Fim do Desperdício

Quanto à “Internet das Coisas” (IoT), a indústria 4.0 [110] poderá representar-se, do seguinte modo esquemático (fig. 89):

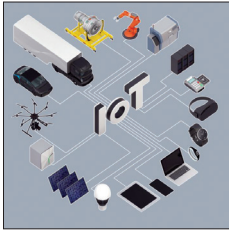


Fig. 89 - Um esquema da internet das coisas (IoT) (Fonte: [110]).

Fig. 89 - An Internet scheme of things (IoT) (Source: [110]).

O professor alemão Klaus Schwab [111], fundador do Fórum Económico Mundial, desenvolveu a ideia de que já estamos a viver nessa nova Era.

“Estamos a bordo de uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Na sua escala, alcance e complexidade, a transformação será diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes”, diz Schwab no livro “A Quarta Revolução Industrial”, publicado em 2016 [112].

Segundo o relatório do Fórum Económico Mundial de 2016, eram sete os países pioneiros da quarta revolução industrial: Singapura, Finlândia, Suécia, Noruega, Estados Unidos, Israel e Holanda.

Energia e Ambiente na Quarta Revolução Industrial

Consumo de recursos energéticos

Quanto ao consumo de recursos energéticos no contexto da quarta revolução industrial, tal como definida anteriormente, não é possível nesta fase, abordar mais do que tendências, com base no determinismo.

Com efeito, com os meios, os princípios e os benefícios previstos - ou previsíveis - contidos no projeto [106], se o desenvolvimento e a incorporação das inovações tecnológicas vão mudar radicalmente o mundo como o conhecemos e moldar a indústria dos próximos anos, essa mudança, associada às mudanças que estão em

curso, vão fatalmente estender-se ao mundo inteiro, incluindo o *fator energia*, a menos que haja algum cataclismo social ou natural.

Embora se verifique que *há grande assimetria no consumo de recursos energéticos* por país, e ainda mais “*per capita*”, a expansão dos meios mínimos necessários para que um número significativo de pessoas *que ainda não têm acesso à energia* possa passar a ter, por si só implica uma grande necessidade de aumento da energia disponível.

E a situação assim criada induz a *procura de recursos energéticos* a nível global, mesmo que haja uma racionalização rápida nos consumos dos países maiores consumidores, que, do ponto de vista tecnológico, e, mais ainda, no aspeto económico, parece não poder ser tão abrupto.

A *migração de algumas das funcionalidades* existentes na sociedade humana, como a *mobilidade, atualmente grande consumidora de energia de origem fóssil*, para a eletricidade; o aumento da eficiência energética e de outras, como a iluminação LED; a emergência de novos tipos de recursos energéticos, como a (ainda longínqua) fusão nuclear, podem alterar a situação, até de modo radical.

A propósito, e ainda dentro do atual paradigma energético, é relevante evidenciar alguns aspetos da sociedade e da economia atuais fortemente *indutores do consumo de recursos energéticos*, como é o caso do aumento das necessidades em meios de transporte terrestres, aéreos e marítimos, a densa penetração da energia elétrica em superfície e em profundidade e o desenvolvimento das telecomunicações, agora também em superfície e em profundidade.

Quanto aos meios de transporte, trata-se de um setor que continua em crescimento global, quer quanto às pessoas quer quanto às mercadorias.

Atualmente (década de 2020), um avião para cerca de 400 passageiros e percurso de 16 000 km levanta voo com cerca de 140 000 litros de combustível; um comboio TGV para cerca de 500 passageiros tem uma potência elétrica de cerca de 10 000 kW (em 25kV); um “*data center*”, vulgarmente designado por “nuvem” pelos operadores de telecomunicações (em Portugal há mais do que um), pode ter uma potência elétrica próxima de 10 000 kW; e a iluminação pública em Portugal tem uma potência elétrica da ordem de 150 000 kW, etc.

Utilizando a feliz imagem seguinte (fig. 90) [113], embora com datas ligeiramente diferentes das convencionadas no presente trabalho, podemos verificar que a

civilização humana e a obtenção de energia evoluem paralelamente, em patamares sucessivos, que se admite serem cada vez mais benéficos, apesar dos riscos, e desde que saibamos prevenir as ameaças.



Fig. 90 - Da revolução industrial à indústria 4.0 (Fonte: 113).

Fig. 90 - From the industrial revolution to industry 4.0 (Source: 113).

Analisando-se a *evolução da utilização da energia pela humanidade*, ainda que por meros tópicos históricos, conclui-se que se trata de um fator determinante para a sua evolução positiva.

Por outro lado, olhando o percurso do ser humano desde o início da sua existência, a capacidade de inventar e melhorar *novas formas de aquisição de energia*, bem como a sua utilização, sempre estiveram ligadas à criação de sucessivas *novas ferramentas...*

Estado Atual dos Recursos Energéticos no Mundo

Carvão Mineral

As reservas mundiais são estimadas em sete bilhões de toneladas [8], o suficiente para atender a procura durante alguns séculos, nas taxas de consumo atuais (QUADRO I e II).

QUADRO I - Distribuição das reservas mundiais [114].

TABLE I - Distribution of world reserves [114].

Países	% de reservas
Rússia	56,5%
EUA	19,5%
China	9,5%
Canadá	7,8%
EU	5,0%
África	1,3%
Outros países	0,4%

QUADRO II - Os 5 maiores produtores em 2010 [115]:

TABLE II - The top 5 producers in 2010 [115].

Países	Produção em milhões de toneladas
China	3 240,0
EUA	984,6
EU	535,7
Austrália	423,9
Rússia	316,9
Total mundial	7 273,0

Petróleo

Reservas mundiais em 2011 (QUADRO III, IV, V, VI) [116].

QUADRO III - As cinco maiores reservas.

TABLE III - The five largest reserves.

Países	Reservas em milhares de milhões de barris
Arábia Saudita	264,6
Venezuela	209,4
Canadá	173,6
Irão	151,2
Iraque	143,1

QUADRO IV - Os cinco maiores produtores.

TABLE IV - The five largest producers.

Países	Produção em milhões de barris por dia
Arábia Saudita	11 726
EUA	11 109
Rússia	10 397
China	4 372
Canadá	3 856

QUADRO V - Os cinco maiores exportadores.

TABLE V - The five largest exporters.

Países	Exportação em milhões de barris por dia
Arábia Saudita	8 856
Rússia	7 201
Emirados Árabes	2 544
Kuwait	2 347
Iraque	2 247

QUADRO VI - Os cinco maiores consumidores.

TABLE VI - The five largest consumers.

Países	Consumo em milhões de barris por dia
EUA	19 280
China	9 392
Japão	4 452
Índia	3 116
Rússia	3 038

Gás Natural

Países com as maiores reservas (QUADRO VII), maiores produtores (QUADRO VIII) e maiores consumidores (QUADRO IX).

QUADRO VII - As cinco maiores reservas mundiais em 2012 [117].

TABLE VII - The five largest world reserves in 2012 [117].

Países	Reservas em bilhões de m ³
Rússia	47 578*
Irão	29 600
Qatar	25 470
Turquemenistão	7 500
Arábia Saudita	7 460

* Cerca de 25% do total mundial (Argélia - 2 370)

QUADRO VIII - Os cinco países maiores comerciantes [118].

TABLE VIII - The five largest merchant countries [118].

Países	Produção em milhares de milhões de Euro
Rússia	179,7
França	210,2
Alemanha	131,0
Espanha	93,5
Itália	47,1

Nota: empresas agregadas por país e não por país produtor.

QUADRO IX - Países maiores consumidores, em 2014 [119].

TABLE IX - Major consumer countries in 2014 [119].

Países	Consumo em bilhões de m ³
EUA	759,4
Rússia	409,2
China	185,5
Irão	170,2
Japão	112,5

Energia Elétrica

A energia elétrica é, cada vez mais, básico para assegurar o crescimento econômico e a qualidade de vida da humanidade, e, ainda, *no atual estado de dependência da energia elétrica*, uma condição essencial para o funcionamento de quase todas as atividades humanas.

Com efeito, sem energia elétrica já não há disponibilização de quase todos os fatores até agora considerados mais básicos, como a água potável, a alimentação ou mesmo o acesso à maioria das habitações, construídas em altura e em cada vez maiores zonas urbanas.

Os recursos para a obtenção da energia elétrica, numa primeira fase de origem hídrica, são crescentemente insuficientes e de difícil reforço, para assegurar as necessidades crescentes da humanidade.

Em consequência, foi necessário recorrer, cada vez mais, à produção através de centrais térmicas com queima de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, à medida que foram sendo utilizáveis.

Quando foram disponibilizadas as centrais de produção termonuclear, passou a existir mais uma alternativa para obtenção da energia elétrica.

Atualmente continuam a ser desenvolvidos meios para obtenção da eletricidade a partir dos recursos energéticos renováveis, numa espécie de regresso às origens da conquista da energia, mas com escala baseada nos conhecimentos tecnológicos atuais.

Energia Hidroelétrica

Os recursos hídricos disponíveis nas proximidades dos principais centros consumidores estão a esgotar-se e o licenciamento ambiental dos aproveitamentos hídricos ainda economicamente viáveis está cada vez mais difícil.

A *produção hidroelétrica*, com 18% *da produção de eletricidade mundial*, continua entre as mais importantes.

As cinco maiores centrais hidroelétricas do mundo, por ordem de potência em MW, localizam-se preferencialmente na América do Sul (QUADRO X), exceto a maior que se encontra na China (fig. 91) [120].

QUADRO X - Maiores centrais hidroelétricas do mundo.

TABLE X - Largest hydroelectric power stations in the world.

Designação	País	Potência em MW
Três Gargantas	China	18 200
Itaipu	Brasil	14 000
Belo Monte	Brasil	11 233
Guri	Venezuela	10 200
Tucucuruí	Brasil	8 370



Fig. 91 - Central hidroelétrica das Três Gargantas (Fonte: [120]).

Fig. 91 - Three Gorges hydroelectric power station (Source: [120]).

Energia Termoelétrica com combustíveis fósseis

A produção de energia elétrica de origem térmica clássica, representa cerca de 60% da energia elétrica produzida

Energia Elétrica de Origem Termonuclear [121]

Os cinco maiores produtores mundiais de energia termonuclear produzem cerca de 1750 GWh (QUADRO XI).

QUADRO XI - Maiores produtores mundiais de energia termonuclear.

TABLE XI - Largest world producers of thermonuclear energy.

País	Eletricidade gerada (GWh)	Porcentagem de eletricidade produzida
EUA	798,7	20,2%
França	391,7	75,0%
Japão	263,1	27,5%
Rússia	152,8	18,0%
Coreia do Sul	141,0	34,8%

A produção de *energia elétrica de origem nuclear no mundo é de cerca de 16% e representa 6,5% do total global.*

O governo russo inaugurou em abril de 2018 a primeira central nuclear flutuante do mundo, localizada no Mar Ártico.

Em 2009 estavam em funcionamento *210 centrais nucleares em 31 países, com um total de 438 reatores a produzir, com a potência elétrica total de 372 GW.*

Em 2014, os cinco países mais dependentes da Energia Nuclear estavam todos localizados na Europa (QUADRO XII) [122].

QUADRO XII - Países mais dependentes da energia nuclear.

TABLE XII - Countries most dependent on nuclear energy.

País	Número de reatores em operação	Porcentagem da matriz energética
França	58	77,7%
Bélgica	7	54,0%
Eslováquia	4	54,0%
Ucrânia	15	47,2%
Hungria	4	43,2%

Resumo das Fontes de Energia no Mundo Atual

A título indicativo, [123], as fontes de energia no mundo estão distribuídas da seguinte forma (QUADRO XIII), por produto e percentagem:

QUADRO XIII - Distribuição das fontes de energia.

TABLE XIII - Distribution of energy sources.

Produto	%
Petróleo	43,0
Gás Natural	16,2
Eletricidade	16,1
Biomassa	14,1
Carvão mineral	7,1
Outros	3,5

O Consumo da Energia Continua a Crescer no Mundo

O relatório publicado pelo Fórum Económico Mundial [124] mostra que os recursos renováveis não hídricos fornecem apenas 1,6% da energia total do mundo (fig. 92).

O consumo mundial de energia aumentou 27% de 2000 até 2013, onde a procura de carvão cresceu dez vezes mais do que a de energias renováveis.

Os números também são duas vezes maiores do que os referentes ao consumo de petróleo e três vezes maiores do que os de gás.

O abastecimento de energia primária mundial, sendo satisfeito em cerca de 87% por combustíveis fósseis, constitui um fator de risco ambiental grave, nomeadamente pela mudança do clima e a escassez de água.

O consumo de energia no mundo cresceu 2,2% em 2017, ou seja 1,7% acima da média dos últimos dez anos.

De acordo com o estudo, a fonte de energia cujo consumo mais cresceu em 2017 foi o gás natural, mais 3% face a 2016. Mas o petróleo também continuou a

crescer, mais precisamente 1,8% e, desta vez, acima da média anual de 1,2% que cresceu nos últimos dez anos.

Em 2017, aumentou também o consumo de carvão, cerca de 1%, o que é um recuo em relação ao trabalho de transição energética e de descarbonização.

Um estudo divulgado na 24.^a Conferência do Clima da ONU, indicou o aumento de 2,7% nas emissões totais de CO₂ de 2018 em relação a 2017, impulsionado pelo uso de carvão e por veículos movidos a combustíveis fósseis.



Fig. 92 - Energia solar e eólica: participação ainda mínima (Fonte: [124]).

Fig. 92 - Solar and wind energy: participation is still minimal (Source: [124]).

Estado Atual da Energia em Portugal

Produção e consumo de energia [125]

O indicador “*Produção e consumo de energia*” analisa a evolução da produção e do consumo de energia (balanço energético), bem como o consumo de energia primária por fonte de energia utilizada e a evolução da dependência energética de Portugal face ao exterior.

Apesar do incremento das energias renováveis, Portugal é ainda largamente dependente do exterior no respeitante à produção de energia, já que o país tem escasos recursos energéticos de origem fóssil.

A fatura decorrente da importação de energia tem ainda um peso substancial, económica e ambientalmente, que importa reduzir cada vez mais.

Os transportes e a indústria são, juntamente com o setor eletroprodutor, os sectores de atividade com maior peso no consumo final de energia, sendo por isso os maiores contribuintes para pressões ambientais.

Pode haver um contributo positivo da eficiência energética, entendida como a otimização da utilização de energia, através das tecnologias que induzam a alteração do comportamento dos consumidores.

Em 2008, a UE estabeleceu para 2020 a redução de 20% do consumo de energia primária, relativamente aos níveis de 1990.

Em 2014, a EU estabeleceu para 2030 a meta não vinculativa de redução do consumo de energia de pelo menos 27% em relação às projeções do consumo futuro de energia com base nos critérios atuais.

Análise da evolução

O balanço energético de 2017 [127] foi realizado tendo por base: importações, produção doméstica e consumos de energia primária e de energia final.

A análise deste balanço energético nacional continuou a evidenciar o peso das importações de energia (27,71 Mtep), exibindo um aumento de 8,1% face a 2016. Por outro lado, a produção doméstica apresentou uma diminuição de 12,7% face ao ano anterior, situando-se nos 5,19 Mtep.

O consumo de energia final cresceu 1,2% relativamente a 2016. O consumo de energia primária também aumentou (+3,7%) face ao ano anterior, essencialmente devido à subida do consumo de gás natural e de carvão.

QUADRO XIV - Consumo de energia primária por fonte energética em 2017.

TABLE XIV - Primary energy consumption by energy source in 2017.

Produto	%
Petróleo e derivados	40,2%
Gás Natural	24,2%
Carvão	14,4%
Biomassa	12,6%
Energia elétrica	7,0% (40,9% de origem renovável)

Dependência energética nacional

A dependência energética teve *nova subida em 2017*, alcançando o valor de 79,7% (valor provisório), após ter, em 2014, alcançado o valor mais baixo das últimas duas décadas, com 72,4%.

Este aumento ficou a dever-se sobretudo à diminuição da produção doméstica e ao aumento da importação de energia verificados em 2017.

Conclusão

Fica demonstrado que a evolução positiva das sucessivas fases do desenvolvimento da sociedade humana, como aconteceram, tem sido feita com base no cumprimento do seu desígnio histórico inicial, conseguido com manifesto êxito, de obtenção e utilização de cada vez mais energia.

Por outro lado, o Planeta Terra, com as ferramentas que o génio humano soube desenvolver através da energia, passou, em poucos séculos, de praticamente imenso, física e mentalmente, (lembremo-nos que Gil Eanes dobrou o Cabo Bojador no século XV) e que Fernão de Magalhães fez a Viagem de Circum Navegação no século XVI), para tamanho do que é percebido como tendo todos os seus locais mais distantes acessíveis

fisicamente, no máximo em algumas horas por transporte confortável, ou, através das comunicações, acessíveis visualmente de modo quase instantâneo.

O Planeta Terra transformou-se, assim, na nossa casa comum, com dimensões limitadas, com recursos limitados e que partilhamos desde a nossa origem com muitos outros seres vivos, quer do mundo animal, ao qual pertencemos, quer do mundo vegetal do qual dependemos.

Trata-se de uma mudança de paradigma do ponto de vista humano, que nem sempre é entendido e assumido como um acréscimo de responsabilidade de quem se conseguiu diferenciar (o ser humano) face aos restantes seres vivos.

Do mesmo modo, as ferramentas que a inteligência humana conseguiu obter, permitiram que se tenha passado, em alguns milhares de anos, de uma intervenção no Planeta Terra quase semelhante à dos outros animais, para uma intervenção que, potencialmente, permite ao ser humano o poder de destruir toda a vida no Planeta Terra, quase instantaneamente, através da manipulação da energia.

Felizmente, aos sucessivos estados de desenvolvimento das sociedades humanas, que inicialmente nem sequer se conheciam na “imensidão” da Terra, tem correspondido, embora muitas vezes de modo não harmonioso e suficiente, normas de conduta que minimizam os riscos da tendência natural para o esmagamento dos que não adquiriram competências (força/energia) por quem as conseguiu.

Estamos, pois, num ponto de viragem histórico, onde o ser humano já possui toda a energia de que necessita do ponto de vista destrutivo e também já começou a caminhar para a elaboração de normas de conduta que levem à redução e melhor utilização da energia de que dispõe, de modo a manter a sustentabilidade da vida no Planeta Terra para todos os seres vivos, com equilíbrio eticamente aceitável.

Não podemos, no entanto, pensar que as mudanças de comportamento da sociedade humana face à energia podem mudar abruptamente, já que, se o domínio da energia tal qual o conhecemos (e pode mudar!) constitui uma vantagem para as ferramentas que nos habituámos a usar, também pode ser, e em alguns aspetos é, uma ameaça que também exige descobertas disruptivas do génio humano para ser ultrapassada de modo pacífico, especialmente tendo em conta os meios agora disponíveis, e o que sabemos sobre o que tem acontecido ao longo da história.

Agradecimento

Relativamente às referências usadas, é deixada uma palavra de grande apreço e agradecimento a todos os que contribuíram com o seu saber, disponibilizado na internet em regime aberto, sem o que não poderia ser dado o presente e modesto contributo para a divulgação da história da energia, de modo agregado.

Referências bibliográficas (webgrafia)

- [1] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fogo>, consulta em 19-02-2019;
- [2] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fogo>, consulta em 19-02-2019;
- [3] jmc.com.br/a-historia-da-iluminacao, consulta em 28-01-2019;
- [4] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tecelagem>, consulta em 28-02-2019;
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Basile_Bouchon, consulta em 15-03-2019;
- [6] https://pt.wikipedia.org/wiki/Carvão_vegetal, consultada em 28-01-2019;
- [7] https://pt.wikipedia.org/wiki/Idade_dos_Metais, consulta em 16-01-2019;
- [8] https://pt.wikipedia.org/wiki/Carvão_mineral, consultada em 16-01-2019;
- [9] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Petróleo>, consulta em 16-01-2019;
- [10] https://pt.wikipedia.org/wiki/Gás_natural, consultado em 04-02-2019;
- [11] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Babilônia>, consulta em 14-03-2019;
- [12] <http://cdn.olhares.pt/client/files/foto/big/59/591688.jpg>, consulta em 25-02-2019;
- [13] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Moinho>, consulta em 25-02-2019;
- [14] <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/.../os-moinhos.htm>, consulta em 25-02-2019,
- [15] https://pt.wikipedia.org/wiki/Moinho_de_vento, consulta em 28-01-2019;
- [16] https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidráulica, consulta em 21-02-2019;
- [17] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquimedes>, consulta em 12-03-2019
- [18] https://pt.wikipedia.org/wiki/Moinho_de_vento, consulta em 28-01-2019;
- [19] https://pt.wikipedia.org/wiki/História_da_Aviação, Consulta em 06-03-2019
- [20] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Archytas>, consultado em 11-03-2019
- [21] https://pt.wikipedia.org/wiki/Roger_Bacon, consulta em 12-03-2019
- [22] https://pt.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci, consulta em 11-03-2019
- [23] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Passarola>, consulta em 11-03-2019

- [24] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Eol%C3%ADpila>, consulta em 25-02-2019
- [25] https://pt.wikipedia.org/wiki/Heron_de_Alexandria consulta em 25-02-2019
- [26] https://pt.wikipedia.org/wiki/Denis_Papin, consulta em 25-02-2019
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Savery, consulta em 29-01-2019
- [28] <https://www.pinterest.co.uk/pin/434245589044635842/?autologin=true>, consulta em 29-01-2019;
- [29] <http://www.moah.org/steam/steam.html>. Consulta em 29-01-2019
- [30] https://pt.wikipedia.org/wiki/Carv%C3%A3o_mineral, consultada em 16-01-2019
- [31] https://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Cugnot, consulta em;16-01-2019
- [32] <https://www.sohistoria.com.br/biografias/democrito/>, consulta em;16-01-2019
- [33] <https://portald Engenharia.com/historia-da-eletricidade>, consulta em 16-01-2019;
- [34] [https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_\(astronomer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_(astronomer)), consulta em;14-03-2019
- [35] https://pt.wikipedia.org/wiki/Stephen_Gray, consulta em 14-03-2019
- [36] https://pt.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin, consulta em 14-03-2019
- [37] https://en.wikipedia.org/wiki/James_Watt, consulta em 28-02-2019
- [38] http://www.leisureopportunities.co.uk/images/266525_636033.jpg, consulta em 18-04-2019
- [39] <https://qualityway.wordpress.com/2017/11/16/industria-4-0-a-4a-revolucao-industrial>, editada em 16-01-2019
- [40] https://www.suapesquisa.com/industrial/fases_revolucao.htm, consulta em 16-01-2019
- [41] https://en.wikipedia.org/wiki/Edmund_Cartwright, consulta em 28-02-2019
- [42] https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick, consulta em 28-02-2019
- [43] https://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph-Marie_Jacquard, consulta em;15-03-2019
- [44] <https://conaenge.com.br/4-revolucoes-industriais-processos-fabricacao/>, consulta em 15-03-2019
- [45] https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Fulton, consulta em 28-02-2019
- [46] <http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/barcovapor.html>, consulta em 20-03-2019
- [47] https://en.wikipedia.org/wiki/George_Stephenson, consulta em 28-02-2019
- [48] <https://www.thoughtco.com/history-of-the-railroad-1992457>, consulta em 28-02-2019
- [49] <https://www.infoescola.com/historia/revolucao-industrial/>, consulta em 16-01-2019
- [50] https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Young, consulta em 16-03-2019
- [51] <https://estudiosdelafisica.wordpress.com/2015/04/02/stephen-gray/>, consulta em 18-03-2019
- [52] https://pt.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin, consulta em 18-03-2019
- [53] https://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday, consulta em 16-03-2019
- [54] https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Edison, consulta em 16-03-2019.
- [55] https://pt.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla, consulta em 18-03-2019
- [56] https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz, consulta em 18-03-2019
- [57] https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell, consulta em 18-03-2019
- [58] https://pt.wikipedia.org/wiki/George_Westinghouse, consult em 18-03-2019
- [59] https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel, consulta em 19-03-2019

- [60] https://pt.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie, consulta em 25-03-2019
- [61] https://pt.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein, consulta em 19-03-2019
- [62] https://pt.wikipedia.org/wiki/Otto_Hahn, consulta em 19-03-2019
- [63] https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear, consulta em 19-03-2019
- [64] sabereletrico.blogspot.com/2010/07/historia-da-eletronica.html, consulta em 18-03-2019
- [65] https://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_John_Thomson, consulta em 19-03-2019.
- [66] https://en.wikipedia.org/wiki/John_Ambrose_Fleming, consulta em 19-03-2019
- [67] https://pt.wikipedia.org/wiki/Gás_natural, consultado em 04-02-2019
- [68] https://pt.wikipedia.org/wiki/Robert_Bunsen, consulta em 15-03-2019
- [69] https://www.ebiografia.com/michael_faraday, consulta em 19-03-2019
- [70] https://ca.wikipedia.org/wiki/Jean_Joseph_Etienne_Lenoir, consulta em 02-03-2019
- [71] https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Otto, consulta em 02,03-2019
- [72] https://pt.wikipedia.org/wiki/Karl_Benz, consulta em 02-03-2019
- [73] https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_diesel, consulta em 16-03-2019
- [74] https://pt.wikipedia.org/wiki/Herman_Hollerith, consulta em 16-03-2019
- [75] https://pt.wikipedia.org/wiki/Henri_Giffard, consulta em 11-03-2019
- [76] https://pt.wikipedia.org/wiki/Samuel_Pierpont_Langley, consulta em 02-04-2019
- [77] https://pt.wikipedia.org/wiki/Santos_Dumont, consulta em 11-03-2019
- [78] https://pt.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%AAmio_Deutsch, consulta em 11-03-2019
- [79] <http://somosescoterodosar.blogspot.com/2009/10/o-oiseau-de-proie-ou-14-bis-ilustracao.html>, consulta em 11-03-2019
- [80] <https://www.aeroin.net/ha-106-anos-voava-o-14-bis/>, consulta em 11-03-2019
- [81] https://pt.wikipedia.org/wiki/Louis_Blériot, consulta em 11-03-2019
- [82] https://pt.wikipedia.org/wiki/História_da_Avição, Consulta em 06-03-2019
- [83] https://pt.wikipedia.org/wiki/Gás_natural, consultado em 04-02-2019
- [84] https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Whittle, consulta em 04-02-2019
- [85] https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_reação, consulta em 06-03-2019
- [86] https://en.wikipedia.org/wiki/Hans_von_Ohain, em 06-03-2019
- [87] https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Heinkel, consulta em 06-03-2019
- [88] https://pt.wikipedia.org/wiki/Herman_Hollerith, consulta em 16-03-2019
- [89] https://pt.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing, consulta em 19-03-2019
- [90] https://pt.wikipedia.org/wiki/Karl_Steinbuch, consulta em 19-03-2019
- [91] <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/carvao-mineral.htm>, consulta em 02-03-2019
- [92] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletrônica>, consulta em 13-02-2019
- [93] <https://library.automationdirect.com/history-of-the-plc>, consulta em 13-02-2019
- [94] https://pt.wikipedia.org/wiki/Terceira_Revolução_Industrial, consulta em 13-02-2019
- [95] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletrônica>, consulta em 13-02-2019

- [96] https://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Kilby, consulta em 13-02-2019
- [97-A] <https://www.dicasfree.com/fonte-de-energia-na-terceira-revolucao-industrial>, consulta em 16-01-2019 7, consulta em 13-02-2019
- [98] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Informática>, consulta em 19-03-2019
- [99] https://www.suapesquisa.com/industrial/terceira_revolucao.htm, consulta em 19-03-2019
- [100] <https://www.dicasfree.com/fonte-de-energia-na-terceira-revolucao...>, consulta em 16-01-2019
- [101] https://www.suapesquisa.com/industrial/terceira_revolucao.htm, consulta em 16-01-2019
- [102] <https://www.dicasfree.com/fonte-de-energia-na-terceira-revolucao...>, consulta em 16-01-2019
- [103] https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear, consulta em 19-03-2019
- [104] https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster, consulta em 28-03-2019
- [104-A] https://pt.wikipedia.org/wiki/Acidente_nuclear_de_Fukushima_I, consulta em 28-03-2019
- [105] <https://expedientesinico.com/2018/07/24/laos-cenenas-de-desaparecidos-apos-ruptura-de-barragem-no-laos/>, consulta em 18-04-2019.
- [106] https://pt.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0, consulta em 19-03-2019.
- [107] <https://www.salesforce.com/.../O-que-e-Quarta-Revolucao-Industrial>, editado em 16-01-2016
- [108] https://pt.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0, editada em 02-04-2019
- [109] <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da...>, consulta em 02-04-2019
- [110] <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309>, consulta em 02-04-2019
- [111] <https://www.salesforce.com/.../O-que-e-Quarta-Revolucao-Industrial>, editado em 16-01-2016
- [112] https://pt.wikipedia.org/wiki/Fórum_Econômico_Mundial, consulta em 16-01-2019
- [113] <bing.com/images>, consulta em 16-01-2019
- [114] <https://brasile scola.uol.com.br/geografia/carvao-mineral.htm>, consulta em 02-03-2019
- [115] https://pt.wikipedia.org/wiki/Carvão_mineral, consultada em 16-01-2019
- [116] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Petróleo>, consulta em 16-01-2019
- [117] <https://industria hoje.com.br/as-10-maiores-reservas-de-gas-natural...>, consulta em 16-01-2019
- [118] https://pt.wikipedia.org/wiki/Gás_natural, consulta em 20-03-2019
- [119] <https://www.indexmundi.com/map/?v=137&l=pt>, consulta em 29-03-2019
- [120] <https://top10mais.org/top-10-maiores-hidreletricas-mundo/>, consulta em 20-03-2019
- [121] https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear, consulta em 20-03-2019
- [122] <https://exame.abril.com.br/economia/os-10-paises-no-mundo-mais-dependentes-de-energia-nuclear/>, consulta em 20-03-2019
- [123] https://pt.wikipedia.org/wiki/Geração_de_energia, consulta em 30-03-2019
- [124] <https://www.dw.com/pt-br/aumenta-consumo-mundial-de-combustíveis>, consulta em 29-03-2019
- [125] <https://rea.apambiente.pt/content/produção-e-consumo-de-energia>, consulta em 13-02-2019 (APA)
- [126] <https://www.bbc.com/news/world-asia-44935495>, consulta em 13-02-2019
- [127] <https://rea.apambiente.pt/>, consulta em 13-02-2019