

A Descar-
bonização
da _____
Economia,
a Energia-
e o _____
Futuro _____

**MANUEL
COLLARES
PEREIRA**



A Descarbonização da Economia, a Energia e o Futuro

MANUEL COLLARES PEREIRA

Professor Catedrático e Investigador Coordenador, reformado
Consultor científico da #Vanguard Properties
Membro da Academia das Ciências de Lisboa



RESUMO

O Desenvolvimento Sustentável (DS) é uma necessidade urgente para um Planeta com mais de 8000 milhões de habitantes e a sua produção de gases de efeito de estufa (GEE), sobretudo os que estão associados à energia – a partir do consumo de combustíveis fósseis – com a produção de CO₂ para a atmosfera, mas também por causa da desflorestação, que contraria o seu sequestro. As alterações climáticas que daí resultam, estão a ocorrer a um ritmo acelerado e que urge controlar. Dos 1,5°C de aumento da temperatura média que os cientistas tinham estabelecido como toleráveis até ao fim do século, já se usou 1,2°C.

O DS, que, no fundo, não é mais do que a necessidade da gestão do facto de que vivemos num Planeta finito e que nos impõe limites – de recursos e de capacidade de resposta por parte da Natureza na absorção dos excessos – que estamos perto de ultrapassar; as alterações climáticas resultantes da acumulação dos GEE na atmosfera, implicam que o DS tem de passar pela descarbonização da economia, reduzindo e, a prazo, acabando com o uso dos combustíveis fósseis.

Assim, esta questão do DS, é abordada na perspectiva da energia, discutida nas vertentes da suficiência e eficiência energética, mas, e sobretudo, da transição energética para fontes de energia que correspondem a baixas emissões de GEE, mas também a partir da adopção de novos materiais (a madeira, por exemplo) e novas práticas capazes de reverter por si só a pegada positiva de emissão de GEE dos sectores de actividade convencional (por exemplo o da construção), e a economia circular.

A transição energética é apresentada como podendo ocorrer, mais rápida e facilmente, através da electrificação crescente da economia, não só pelo impacte que a electricidade permite ter sobre a energia útil (com forte redução de consumo) como pelo facto de a electricidade poder ser produzida por fontes de energia limpas, como as energias renováveis, e que hoje constituem a forma mais barata de fazer essa produção. A energia nuclear para a produção de electricidade também é discutida, mas sublinhando que, entre muito aspetos, pelos seus elevados custos (diretos e escondidos), pela sua insustentabilidade inerente, pela dificuldade e tempo de instalação de um reactor nuclear, não constitui uma solução para o curto e médio prazo e pode mesmo acontecer que perca relevância no futuro.

A forte evolução da tecnologia e a grande variedade de práticas e soluções existentes já hoje, permitem perspectivar que o problema da eliminação dos combustíveis fósseis – energia primária fóssil – está verdadeiramente ao nosso alcance. Mas a mudança de paradigma exige dos cidadãos uma mudança de cultura, para deixarem de ser parte do problema e passarem a ser parte fundamental da solução. O famoso custo da transição

RESUMO

energética e da adoção de novas práticas de sustentabilidade é apresentado como sendo, não um custo, mas um investimento, numa nova economia, com forte retorno potencial e muitas vantagens do ponto de vista da qualidade de vida, mas a exigir uma vontade política e cívica de afrontar os poderosos interesses instituídos e resistentes à mudança.

ABSTRACT

Sustainable Development (SD) is an urgent need for a planet with 8 billion+ people and the associated production of GHG gases, in particular those related to fossil fuel energy consumption and the emission of CO₂ to the atmosphere, but also the growing extent of deforestation, hindering the capacity to sequester it. The ensuing climate change is accelerating and that is unacceptable. Scientists established a temperature rise not above 1,5°C until the end of the century and 1,2°C are already used.

SD requires managing the fact that we live in a finite Planet, imposing on us severe limits- resource limits and Nature's limited response capacity for the excessive impacts- that we are still ignoring; climate change and GHG in the atmosphere, determining the urgent decarbonization of the economy, through the reduction and even the end of fossil fuels usage.

This question is handled by considering: (i) energy, discussed first through the lens of energy sufficiency and energy efficiency, but mainly next, by pointing out the need for an energy transition towards energy forms that are "clean", with much lower GHG emissions, (ii) the adoption of new materials (for instance, wood) and new practices (for instance in the construction sector), a change able to reverse the carbon foot print from positive to negative- CO₂ sequestration (iii) the circular economy.

The energy transition is presented has much facilitated by the urgent electrification of the economy, not just because electricity allows for useful energy to be produced in the most efficient fashion (think electric engines or heat pumps) but also because it can be produced by "clean" energy sources like renewable energies, today also the cheapest way to produce electricity. Nuclear energy for the production of electricity is also discussed, calling attention to the fact that, because of its very high costs (direct and hidden ones), inherent unsustainability, difficulty and time involved in nuclear reactor construction and delivery, it is not a solution for the short and even medium term, to a limit that it may even stop being so in the future.

Strong technological evolution and the large variety of already existent practices and solutions, allow us to predict that the elimination of fossil fuels is really within reach. The shift in paradigm behind it demands that the citizens stop being part of the problem to become part of the solution. The (in)famous cost of the energy transition associated with the adoption of all new practices and solutions, should be rather seen as an investment instead and one with a strong return, associated with a higher quality of living. But this requires civil and political will to face powerful lobbies and existing interests determined to resist the change.

NOTA INTRODUTÓRIA

Estão disponíveis um grande número de relatórios da União Europeia, da Agência Internacional de Energia (IEA), do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC), de Entidades Privadas (sobretudo as ligadas aos sectores dos Seguros, das Finanças, dos Fundos de Investimento, etc.), explicando as questões da energia, a sua relação com as alterações climáticas e fazendo previsões para o futuro, em diferentes cenários no contexto de políticas energéticas urgentes e específicas. Em Portugal os documentos mais importantes sobre o tema são o PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima e o RNC – Roteiro Nacional de Carbono.

Não pretendo substituir-me a nenhum desses escritos, ou repetir por repetir o que anunciam. O meu objectivo com este texto é outro: trazer o ponto de vista do Físico, que sempre dedicou a sua vida académica e profissional a estas questões, procurando enquadrar o problema, apresentar os principais constrangimentos que temos, procurando evitar o que possa corresponder a uma postura de carácter mais ideológico.

Ideologia é algo que facilmente temos tendência a deixar que se imiscua nestas questões, por anos da habituação a uma forma de estar “na energia” que não é mais possível (e mudar é sempre difícil e ninguém quer mudar!) e por anos de verdadeira propaganda que nos habituamos a ouvir, sobre esta ou aquela forma de resolver o problema e que, com frequência, não tem aderência à realidade. No entanto, é obvio que quando encaramos qualquer política energética que necessitamos de definir e depois impor, política que nos vai condicionar o comportamento, na oferta e na procura de energia, a linha entre realidade científica e ideologia pode parecer mais ténue... procurarei, ainda assim, não a ultrapassar, embora afirme, com frequência, que devemos seguir este caminho e não aquele... por conhecimento e análise dos factos.

Procurarei também ser sintético, já que muita da discussão – por exemplo, sobre as alterações climáticas – está feita e pode ser dada como adquirida. Pretendo apenas ajudar a compreender, a explicar, qual a tecnologia que temos e que chega para resolver o problema (sem prejuízo de esta estar sempre a evoluir e de trazer novas oportunidades e soluções a cada instante). Mas também pretendo explicar que isso não chega, que cada um de nós está no fim da linha do consumo de energia, tem de dar uma forte ajuda, com a aceitação da necessidade de mudança para a transição energética, mas também para as mudanças no nosso comportamento, o lado social e cultural que é condição “sine qua non” para que a solução seja atempada (isto é, ocorra nos próximos anos)!

Para os cidadãos, a mudança, a transição energética apresenta-se, hoje, mesmo como uma obrigação moral [52]

A sustentabilidade está crucialmente dependente do reconhecimento de que há limites para tudo o que se quer e pode fazer, e essa é uma percepção que não é ainda a percepção que tem a maioria das pessoas. Há limites nos recursos, há limites na capacidade que a Natureza possui para absorver (em tempo!) os impactos que temos sobre ela e a cultura vigente tende a acreditar precisamente no inverso, o que prejudica o caminho para um desenvolvimento que não seja mais sem limites, mas que se possa sustentar nas condicionantes físicas de que depende.

Uma dificuldade grande, advém do facto de a crise climática não resultar de um só evento, verdadeiramente global e catastrófico, a ditar uma resposta consentânea, em acto contínuo. Mas, em contraste, é algo que vai acontecendo de uma forma quase invisível, por deltas incrementais, apesar de haver consequências momentâneas mais visíveis e bem fortes, mas separadas no tempo e no espaço... é mesmo quase como se nada estivesse a acontecer... E, sem drama, não há resposta... e não há percepção intuitiva para a urgência da mudança de cultura, de atitude, etc.

Isto exige uma informação de qualidade e a sua interiorização, um processo cultural lento e difícil, sobretudo nas sociedades de menor literacia. Os cientistas podem e devem produzir essa informação e ajudar na sua compreensão, verdade e consequências!

Por último, o caso do nosso país estará no centro da análise, um caso concreto onde a mudança pode acontecer e já está a acontecer.

1. OS FIOS DA MEADA	10
2. DESCARBONIZAR, MAS COMO?	13
2.1. A Energia	14
2.1.1. A Suficiência e a Eficiência Energéticas	14
2.1.2. As alternativas à energia dos combustíveis fósseis	15
2.1.3. A electrificação da economia	16
2.1.4. Energia Elétrica em Portugal	18
2.1.5. As Energias Renováveis	20
2.1.5.1. Características e limitações	20
2.1.5.2. Armazenamento de energia	21
2.1.5.3. A produção de energia no futuro	23
2.1.5.3.1. Electricidade	23
2.1.5.3.2. Calor	25
2.1.5.4. A disponibilidade de recursos para a produção de tecnologias renováveis	26
2.1.5.4.1. Consumo de energia no fabrico (Energy Return on Energy Investment)	26
2.1.5.4.2. Materiais: recursos, a questão das Terras Raras e outros elementos	26
2.1.5.4.3. A disponibilidade de terrenos (áreas) para a instalação equipamentos	28
2.1.5.5. Bioenergia	31
2.1.5.6. As energias renováveis e o futuro, no resto do mundo	33
2.1.6. A Energia Nuclear	34
2.1.7. Combustíveis sintéticos, H2	35

2.2. Os Materiais e a descarbonização da economia	38
2.2.1. A madeira e a sustentabilidade	38
2.2.2. Uma nova tecnologia da madeira	40
2.3. Reciclagem e a economia circular	45
2.4. Entretanto: a mudança de comportamentos no caminho para o futuro	47
2.5. Conclusão	49
3. REFERÊNCIAS	51
ANEXO 1. GASES DE EFEITO DE ESTUFA	54
ANEXO 2. COMPARAÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE POR VIA NUCLEAR E POR VIA DE FONTES RENOVÁVEIS (PV)	57
ANEXO 3. A ENERGIA NUCLEAR: UMA OPÇÃO ULTRAPASSADA!?	61
3.1. Fissão (cisão) Nuclear	62
3.2. Fusão Nuclear	66

1.

FIOS DA MEADA

O Desenvolvimento Sustentável impõe-se num Planeta com mais de 8000 Milhões de habitantes, com um consumo crescente de recursos finitos e com impactes sobre a Natureza cada vez mais perto dos limites de capacidade que esta tem para lidar com eles em tempo útil.

Um exemplo é o da produção dos gases de efeito de estufa (GEE), sobretudo os que estão associados à energia – a partir do consumo de combustíveis fósseis – com a produção de CO₂ para a atmosfera e à desflorestação, que condiciona o seu sequestro. As alterações climáticas que daí resultam, estão a ocorrer a um ritmo acelerado e que urge controlar. Dos 1,5°C de aumento da temperatura média que os cientistas tinham estabelecido como toleráveis até ao fim do século, já usámos 1,2°C. Com mais umas décimas, atingimos os chamados pontos sem retorno (ou sem regresso) com consequências devastadoras, e que levarão centenas, senão mesmo milhares de anos a corrigir. Isso afectará a vida de todos neste Planeta, incluindo a dos nossos próprios descendentes directos.

A solução passa por descarbonizar a economia, reduzindo e, a prazo, acabando [1],¹ com o uso dos combustíveis fósseis.

Assim, falamos da necessidade de uma transição energética, o que quer dizer recorrer a fontes de energia que não causem emissões de GEE. As emissões de CO₂ são directamente provenientes da queima dos combustíveis fósseis, correspondem a cerca de 80% do total das emissões de GEE. (ver o Anexo 1 para definições e maior detalhe).

A dificuldade está no facto de termos construído durante o último século, uma dependência quase total dos combustíveis fósseis, uma forma de energia (química) extraordinária na sua conveniência, concentrada (alta densidade) e estável à temperatura ambiente, facilmente transportada e transformada em electricidade, em energia mecânica para os transportes, em calor e frio para a indústria e edifícios, etc.

Em termos técnicos falamos de Energia Primária que se trata agora de fazer desaparecer de cena, das estatísticas e do próprio discurso da energia. Esta questão das estatísticas da energia é importante, pois sem ser compreendida nestes termos, a solução parece muito mais difícil e complicada do que é.

O que pretendemos é Energia Final, isto é, aquela que está disponível antes do acto final de transformação em Energia Útil.

Ou seja, por exemplo, aquela que está na rede que alimenta a tomada a que se liga o candeeiro, antes de este ser acendido para dar luz.

1 — Em rigor, deveríamos chegar a um uso de combustíveis fósseis (todos os fins, incluindo a indústria química) entre 1/6 e 1/7 do que temos hoje, para atingirmos uma neutralidade carbónica (consumo/emissões = absorção/sequestro) que seria aceitável [IPCC]

A Energia Primária é um conceito que nos permite perceber que a energia do carvão, queimado na central térmica, permite produzir a electricidade que depois será transportada até à tomada que alimenta o candeeiro. Nesse processo há muitas perdas (para a produção de uma unidade de energia eléctrica são necessárias ~3 unidades de energia térmica – um factor 3 de perdas – já que o rendimento da central térmica a carvão se situa-se entre 30 e 40%²) aumentado ainda por mais perdas (entre 8 e 12% mais de perdas em linha) até viajar e alcançar o ponto de consumo.

No caso do petróleo temos de considerar a energia necessária para a sua extracção, refinação e transporte, até ao posto de abastecimento.

Quando falamos de uma fonte renovável capaz de produzir electricidade directamente, o conceito de energia primária deixa de ser relevante. Até mesmo as perdas em linha poderão não ter de ser consideradas, quando a electricidade é produzida de forma descentralizada, por exemplo no telhado das nossas casas.

Quando se substitui electricidade de origem fóssil por outra que o não é, o impacte sobre a redução em energia primária é importante e é-o também pelo passo final de conversão em energia útil, como se pode ver no caso dos transportes ou da transformação térmica.

Por exemplo, o combustível, uma vez no depósito do nosso carro (Energia Final) tem um rendimento de conversão em movimento (Energia Útil), de cerca de 20%. O mesmo veículo, se se deslocar com um motor eléctrico, obtém a mesma unidade de movimento com um rendimento de 95%. O impacte sobre a redução de energia primaria é agora muito grande (um factor superior a 5), se a energia eléctrica em causa não for de origem fóssil. Mas, mesmo que a electricidade seja obtida por via fóssil térmica, o balanço, neste caso, em comparação com o uso directo de combustível, continua favorável (1 para 3 em vez de 1 para 5).

Quando se tem em conta estes aspetos, percebe-se que, há medida que vamos retirando energia primária fóssil do panorama – estatística – da energia, vamos realmente avançar, sem falar mais nos termos de sempre da energia (a primária). Isto é, sem termos de dar ouvidos ao discurso das transições lentas e demoradas, como as que assistimos do carvão para o petróleo e deste para o gás, discurso que se houve com frequência, a propósito da transição para as Renováveis, por exemplo.

A conclusão importante é a de que o discurso do futuro vai passar a dever ser feito em termos de Energia Final.

² – Se for uma central térmica a gás natural o rendimento está mais próximo de 50% e, portanto, há apenas um factor 2 de perdas

2.

**DESCARBONIZAR
MAS, COMO?**

Vamos continuar a analisar a questão da energia, em busca de alternativas, mas sem perder o ponto de vista mais importante, que é o da descarbonização da economia.

Reduzir, a ritmo acelerado, o consumo dos combustíveis fósseis, vai exigir a ampla consideração de alternativas no âmbito da energia (2.1), mas vai conduzir à consideração de outras possibilidades com impacto muito grande. São sobretudo a questão dos materiais e a sua utilização (2.2) e a discussão em torno dos temas da reciclagem e da economia circular (2.3). A questão cultural (2.4), em particular o comportamento dos consumidores é uma parte muito importante do problema e tem de passar a ser parte da solução, já.

A energia acaba por estar implícita em todos eles, mas os pontos de vista são específicos e, por isso, faremos um tratamento em separado.

Uma análise mais completa levaria a considerar as questões da energia e dos impactos ambientais associada a outros aspectos concretos como o da produção de alimentos (agricultura e pecuária). Estas áreas exibem hoje uma evolução fortíssima, muito para lá das mudanças dos hábitos e dos procedimentos que já vão acontecendo, capaz de ter consequências importantes a médio e/ou longo prazo. Cito apenas a possibilidade da produção de carne através do recurso às células estaminais [2]³.

2.1. A ENERGIA

2.1.1. A SUFICIÊNCIA E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICAS

Antes de entrar no tema das alternativas (oferta de energia), é essencial introduzir os conceitos de suficiência e eficiência energéticas, já que, em qualquer cenário, devemos gerir o que se chama a procura de energia, no fundo evitando o consumo (suficiência energética) e, depois, velando pela utilização mínima de energia para obtenção de um determinado objectivo (serviço) e que designamos por eficiência energética.

Este tema da gestão da procura é essencial. Por si só permite reduzir o consumo de combustíveis fósseis, e faz entrar na equação o consumidor, cuja atitude (em termos individuais ou colectivos) é a causadora do problema que queremos resolver.

Exemplos para falar de suficiência energética, há muitos e variados. Desde a adopção de práticas de construção que privilegiem o isolamento

³ — We Tasted the World's First Cultivated Steak, No Cows Required, TIME, Aryn Baker/Rehovot Israel, November 2022

térmico, o recurso a vidros duplos (ou mais!), à orientação correcta dos edifícios para tirar partido da ventilação natural, dos ganhos solares, etc., até ao planeamento das cidades que minimize deslocações, à redução do uso dos transportes individuais em favor dos transportes colectivos, encontramos muitas formas para evitar consumir energia, sem sacrifício da nossa qualidade de vida.

Esta preocupação faz parte cada vez mais importante da abordagem ao sector dos edifícios, por exemplo. Temos a certificação energética dos mesmos, cada vez mais exigente (DGEG – Direcção Geral de Geologia e Energia, ADENE – Agência Nacional de Energia e o programa ELPRE) e a obrigar a uma evolução que condicionará o nosso comportamento, conforto e mesmo o valor, isto é, a rentabilidade, dos investimentos neste sector, no futuro próximo!

A Eficiência Energética, através da evolução do comportamento energético dos equipamentos e da consideração de processos (por exemplo na indústria) cada vez mais eficientes, ganha também um enorme terreno, todos os dias.

A legislação europeia e a nossa própria, neste sector, são cada vez mais apertadas. Pretende induzir reduções de consumo de 32,5% até 2030. Resta-nos encarar isso como uma forma eficaz de nos ajudar a mudar o nosso comportamento em termos de procura de energia.

Afinal, há muito que podemos e devemos ir fazendo: como melhorar o comportamento térmico das nossas casas, pensar em sermos produtores de energia com fotovoltaico ou solar térmico nos nossos telhados, substituir o fogão a gás e /ou caldeira por equipamentos eléctricos (ver 2.1.3, adiante), etc., mas, se formos empurrados pela legislação, não teremos alternativa, mais tarde ou mais cedo.

E se conseguirmos controlar a ânsia de consumir (bens de consumo) característica da sociedade de consumo sem limites em que vivemos, também lograremos algo com impacte muito relevante.

2.1.2. AS ALTERNATIVAS À ENERGIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Depois de aprendermos e praticarmos a gestão da procura que discutimos acima, temos, finalmente, de encarar o recurso às alternativas à energia dos combustíveis fósseis.

Há essencialmente duas possibilidades a considerar: as Energias Renováveis e a Energia Nuclear.

Nas primeiras incluímos a Solar, a Hídrica, a Eólica, a Bioenergia, das Ondas e Marés e a Geotérmica. Esta última não é estritamente renovável,

mas é prático considerá-la como tal. Na segunda teremos de falar de fissão e fusão nucleares.

As primeiras podem ser utilizadas (sobre tudo a Energia Solar) para a produção de electricidade, e para a produção direta de combustíveis, biocombustíveis e os ditos sintéticos (como o H₂ e outros), bem como calor e frio. As segundas, salvo aplicações especiais, sobretudo no domínio militar, são propostas apenas para a produção de electricidade.

A grande alteração/evolução tecnológica dos últimos anos aconteceu precisamente no domínio das Energias Renováveis, sobretudo com a Eólica e a Solar que, hoje, constituem a forma mais barata de energia eléctrica que é possível encontrar no mercado. Mais barata, versátil, implementável em prazos curtos e usando recursos abundantes, distribuídos, em todo o Mundo.

Enquanto isto, a Energia Nuclear foi ficando progressivamente mais cara, sobretudo por questões ligadas à segurança (depois dos grandes acidentes de Chernobyl e Fukushima e de muitos acidentes menores que foram e vão acontecendo) e à consciência crescente dos seus chamados custos escondidos.

A diferença é enorme. Para a quantificar basta dizer que o custo do Wpico⁴ para uma grande central solar fotovoltaica de hoje, pode situar-se entre 0,3 e 0,4€/Wp e o do Nuclear, para uma central nova, embora oferecido aos seus potenciais compradores entre 3 e 4 €/Wp. Na prática, acaba por custar ainda muito mais (8,5€/Wp (central de Oilikuoto-3 na Finlândia e >17€/Wp em Flammanville, França, etc. [4]⁵). Um factor 10 de diferença à partida, que, depois, pode atingir valores superiores a 50! (ver Anexo 2)

Voltaremos a esta questão quando analisarmos um pouco mais a Energia Nuclear, mas, para já, prosseguimos com a análise do interesse e da importância da produção de energia, sobretudo a eléctrica, por fontes alternativas.

2.1.3. A ELECTRIFICAÇÃO DA ECONOMIA

A Figura 1 mostra a distribuição da Energia Final, electricidade uso final, calor (inclui calor e frio no sector dos edifícios, mas também calor de processo na indústria) e transportes, na União Europeia.

⁴ — Potencia de produção – rating – de uma determinada tecnologia; no caso do painel fotovoltaico corresponde à produção que pode ter quando transforma 1000W/m² – radiação solar ao meio-dia solar de um dia de céu claro

⁵ — In 2022, nuclear power's future looks grimmer than ever, Renew Economy, Jim Green, 11 January, 2022 77

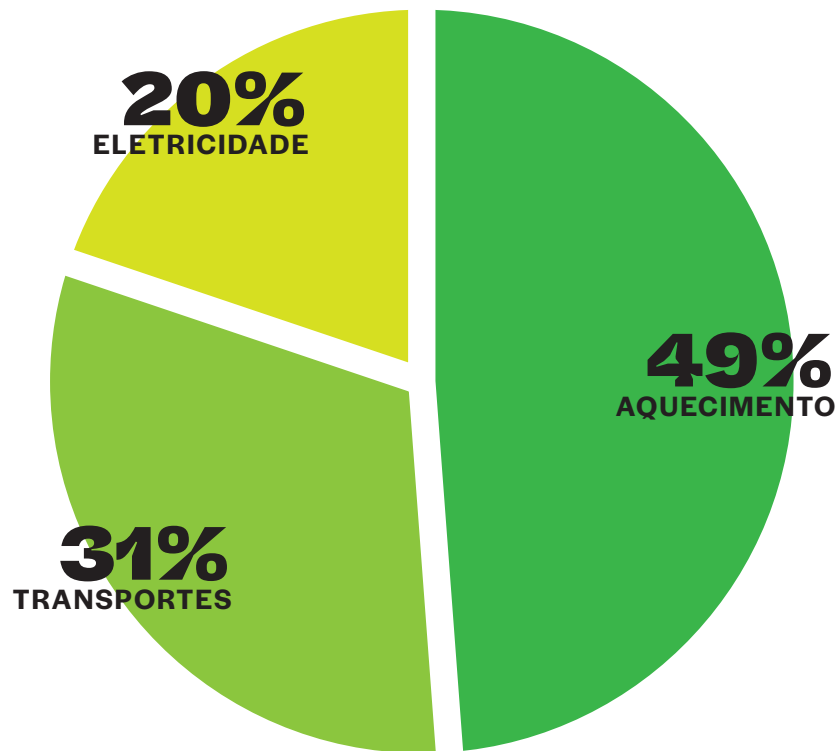


FIG. 1
ENERGIA FINAL NA UNIÃO EUROPEIA

Vimos o grande impacto que pode ter sobre a Energia Primária, a electrificação, por exemplo, dos veículos. Mas também poderíamos ter referido a possibilidade de substituição do gás para cozinhar alimentos por placas eléctricas (com uma poupança de energia que facilmente atinge um factor 2), ou a substituição dos sistemas de aquecimento nas nossas casas por bombas de calor, cujo comportamento energético permite, com uma unidade de energia eléctrica, produzir 4 ou 5 unidades de calor (ou frio), em contraste com os rendimentos inferiores a 1 das caldeiras a gás, ou ainda o crescimento da sua utilização na indústria, aliás até associada à possibilidade de produção própria descentralizada (fotovoltaico, por exemplo).

Isto é, temos um forte incentivo em electrificar cada vez mais toda a actividade económica, desde que possamos produzir electricidade que não seja por via fóssil.

Acontece ainda que, ao pretendermos recorrer às Energia Renováveis, a forma mais barata, imediata, directa e impactante de o fazer, é precisamente na produção de electricidade.

Perspectiva-se que a fatia amarela da pizza da Energia Final, aumente de 20% para pelo menos 40% nos próximos 20 anos, com um impacto muito forte sobre a energia primária fóssil, aumentando a sua penetração no sector dos Transportes (coletivos e individuais) e no sector do Calor.

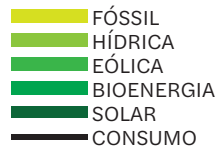
Mas as Renováveis poderão ter uma contribuição acrescida, quer para fins térmicos - a biomassa/resíduos e o solar- quer para a produção de combustíveis alternativos, os sintéticos, incluindo o H₂ verde e os biocombustíveis, em menor grau, como se verá.

2.1.4. ENERGIA ELÉTRICA EM PORTUGAL

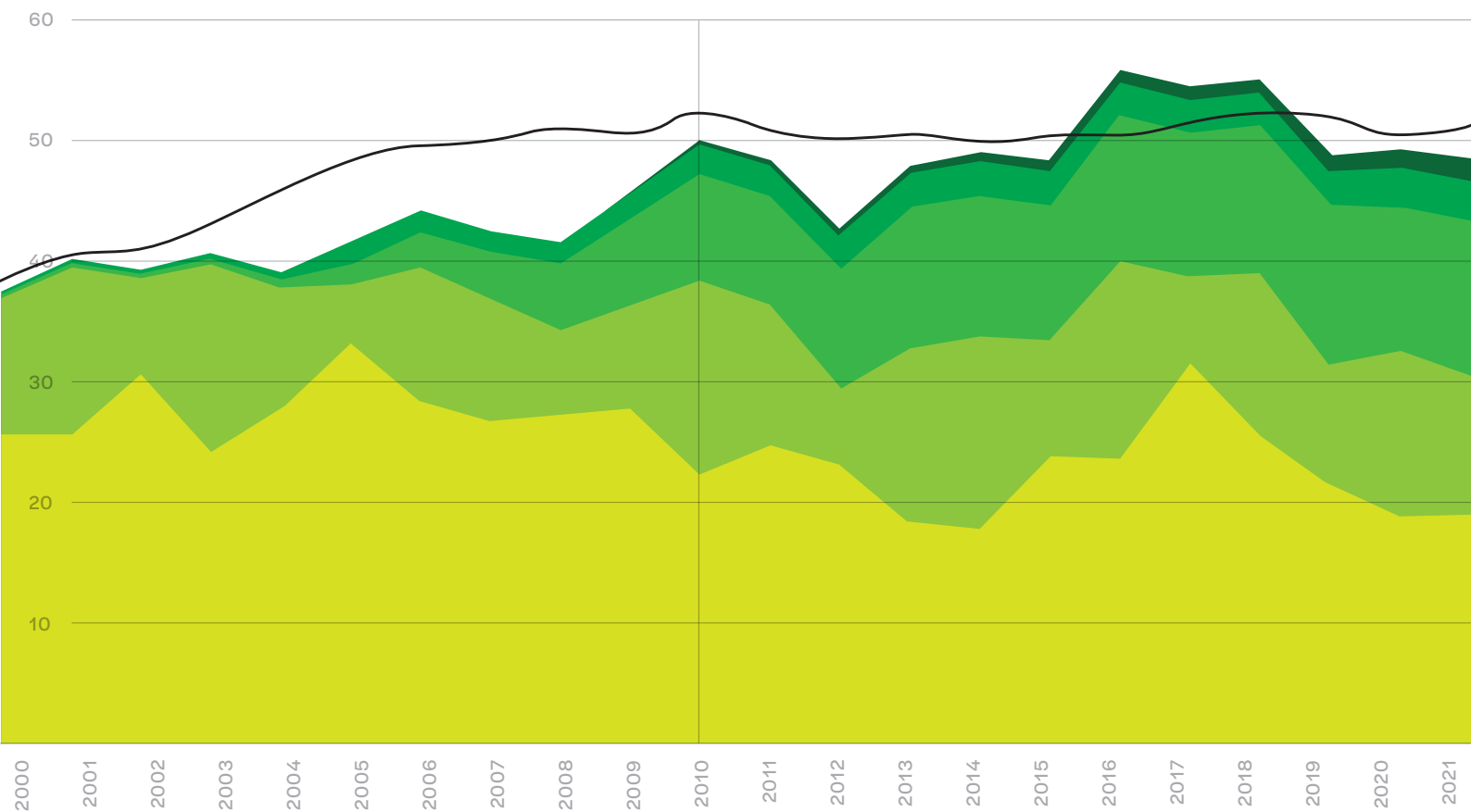
Antes de avançar com mais considerações sobre o futuro e o papel das alternativas, é útil apresentar a situação actual do sector para a produção de electricidade, em Portugal.

FIG. 2
EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE EM PORTUGAL

REN – Rede Eléctrica Nacional – Fonte, Análise,
APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis



ELETRICIDADE (TWh)



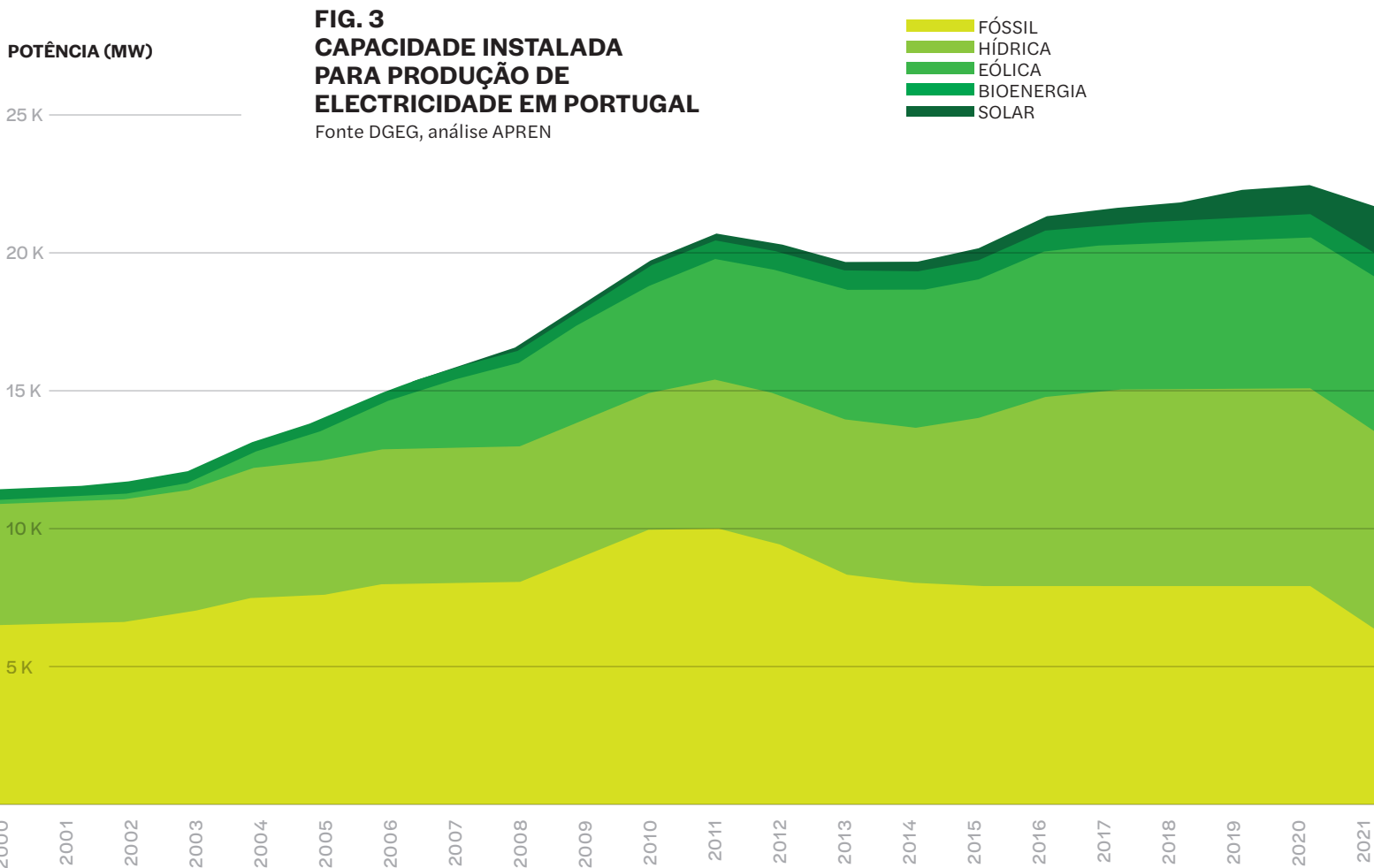
Verifica-se (ver Fig. 3) que há cerca de 20GW de potencia instalada, dos quais 7,1GW em centrais hidroelétricas, 5,6GW eólicos, 4,5GW em centrais a gás natural, 1,8GW fotovoltaicos e 0,7GW em centrais de biomassa.

O pico do consumo situa-se um pouco acima de 10GW em alguns dias de Inverno, pelo que se pode apreciar que existe uma capacidade instalada folgada.

Como se pode ver, a produção atribuída às Renováveis ronda os 60% e a dependência dos combustíveis fósseis tem vindo a diminuir, actualmente sendo exclusivamente de gás natural.

O consumo, em alguns anos e em muitos dias, pode ser excedido pela produção (equivale a haver exportação de energia eléctrica). Também ocorre importação de energia eléctrica, num exercício frequente de balanço recíproco.

A contribuição do solar (fotovoltaico) é ainda muito diminuta, em comparação com a hídrica e eólica. Este facto teve consequências importantes nestes últimos anos de menor precipitação (seca) e menor disponibilidade da eólica, reduzindo a contribuição potencial para valores que teriam sido muito maiores com uma maior capacidade instalada de solar, já que o recurso solar tende a aumentar nessas circunstâncias. Esta situação está em vias de ser alterada, com o aumento substancial da contribuição do solar que se prevê. (ver abaixo)



De acordo com o PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima 2030, estima-se que o sistema electroprodutor nacional evolua para uma capacidade instalada de cerca de 30 GW, onde as renováveis representarão cerca de 80% do total, ou seja, 24 GW. Destes, 9 GW serão energia hídrica, entre 8 e 9,2 GW energia eólica e entre 8,1 e 9,9 GW energia solar.

Esta evolução está em linha com a necessidade de uma crescente electrificação da economia, explicada acima. Note-se o grande reforço da presença do solar que está em curso!

2.1.5. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.1.5.1. CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES

Este escrito não é certamente um local para uma explicação técnica sobre estas várias formas de energia e dos equipamentos empregues na sua transformação e aproveitamento⁶, mas tão somente para relevar alguns aspectos mais salientes e que ajudem a compreender o tipo de papel que vão ter no nosso futuro.

Todas têm uma origem solar, mais ou menos directa do Sol que está presente no dia a dia do Planeta em que vivemos, e isso é o que lhes confere o seu carácter renovável, sem limites no tempo da nossa escala de tempo.

Em termos de abundância, a potência (~1000W/m² num plano perpendicular à direcção Terra-Sol, ao nível do mar) que nos chega do sol em cada instante, é ~10 000 vezes superior às nossas necessidades instantâneas. Em termos de disponibilidade é que temos de considerar algumas questões específicas: a alternância dia e noite e a sazonalidade – estações do ano, com impacte sobre a quantidade de energia solar disponível, de um dia para o outro, mas também da precipitação, do regime de ventos, variações que têm de ser integradas na equação geral da utilização do solar, da hídrica, da eólica, etc.

⁶ — Como já se referiu houve uma evolução científica e tecnológica nos últimos anos (e continua a haver) que nos permite dispor de painéis solares – ditos fotovoltaicos – e de colectores térmicos, com ou sem concentração da radiação vinda do sol, bem como de geradores eólicos e muitos outros equipamentos, que nos proporcionam a forma mais barata de produzir energia eléctrica, por exemplo. Outras tecnologias estão em franca evolução, por exemplo a da energia das ondas e a das marés, que aumentarão no futuro a disponibilidade de energia renovável, contribuindo ainda mais para a nossa segurança de abastecimento.

Contudo esta variabilidade de disponibilidade tem uma característica muito importante e que é a da coincidência no tempo das várias formas de energia. A ausência de sol no período nocturno pode ser compensada pela presença de vento, ou pelo aumento da precipitação que, por sua vez, nos traz a disponibilidade da energia hídrica.

A outra característica importante é a disponibilidade no espaço. No norte do país (e da Europa) chove mais ou há mais disponibilidade de vento do que no sul. Com o solar será o contrário, sobretudo pensando em termos europeus⁷. Essa variação está associada a uma oportunidade muito importante quando se considera a produção de electricidade e um mercado comum europeu da energia: a electricidade pode ser produzida num local (país) e transportada para ser consumida noutra. Há uma evolução da legislação europeia para facilitar/melhorar/aumentar as interconexões entre países, precisamente para explorar este facto. A gestão das simultaneidades!

O mercado ibérico da electricidade e as frequentes trocas entre os dois países, Portugal e Espanha, são exemplos claros disso.

A tecnologia trouxe-nos outro mecanismo para atenuar o problema: é o tema do armazenamento explícito de energia.

2.1.5.2. ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Uma primeira forma de armazenamento é o da simbiose entre a hídrica e as demais fontes como a eólica, ou a solar.

A hídrica, associada a albufeiras, permite armazenar energia, praticando o que se designa por funcionamento reversível, que consiste em bombar de volta à albufeira, água que já passou e produziu energia eléctrica; isto quando há um excesso de energia eólica, por exemplo, sem consumo nesse momento e que, em vez de ser perder, pode assim ser armazenada. O número de aproveitamentos hidroeléctricos com barragem e funcionamento reversível já é significativo em Portugal, e está já próximo de 3,5GW (DGEG, EDP) em 2022. O rendimento associado a este processo, incluindo os dois sentidos, situa-se entre 75 e 80% (pode atingir 90% em cada sentido), pelo que as perdas desta estratégia são aceitáveis, aliás potencialmente inferiores às do armazenamento de energia eléctrica em baterias, cujos ciclos carga-descarga se situam em rendimentos globais entre 60 e 70% (80% em cada sentido)

⁷ — Ao contrário do que se possa pensar, a disponibilidade de energia solar entre o sul (Faro, por exemplo) e o norte do país (Porto, por exemplo) é inferior a 20%

Nota: a questão da energia hídrica não deve ser vista de forma isolada da questão da água, num país que caminha para um clima em média mais seco no seu futuro.

Não é este o local para discutir esta questão, mas o aumento da capacidade em hídrica, previsto até 2030 (cerca de 1GW mais) é uma boa notícia para ambos os problemas: energia e água.

As albufeiras permitem um armazenamento na escala de dias, mas também, em teoria, uma gestão de produção numa escala sazonal, algo que ainda não se está a praticar, também por causa da complicação associada ao problema da gestão da água.

Uma segunda forma de tratar a questão do armazenamento é através da tecnologia das baterias, já referida acima.

Há muitos tipos de baterias e é uma tecnologia em franca evolução. As baterias dos veículos eléctricos estão hoje centradas no recurso ao lítio [4]⁸. A evolução tecnológica, da extracção à configuração das baterias (densidade, kWh/m³ ou kWh/kg) e as reservas de lítio conhecidas, permitem satisfazer a procura crescente por muitos mais anos (2035–2040).

Entretanto surgirão outras tecnologias, para esta e outras aplicações importantes, baseadas em outros materiais como o Sódio, o Enxofre, o Alumínio [5]⁹, abundantes e aliviando a pressão sobre a questão da escassez, face à escala de utilização. Para as baterias dos veículos, serão adoptadas tecnologias de reutilização (segunda vida) em aplicações estacionárias, por exemplo, menos exigentes.

Em paralelo temos tecnologias sobretudo para aplicações estacionárias, em baterias de grande capacidade de armazenamento, em nós de rede, em grandes utilizadores, etc., e que surgem associadas também a outros materiais. Um exemplo é o das baterias de fluxo, com recurso ao Vanádio (Vanádio Redox [6]¹⁰).

Uma tecnologia alternativa e em desenvolvimento é a do armazenamento da energia sob a forma de calor, com produção de

8 — Metals & Mining Practice Lithium mining: How new production technologies could fuel the global EV revolution April 2022 © Xeni4ka/Getty Images Lithium is the driving force behind electric vehicles, but will supply keep pace with demand? New technologies and sources of supply can fill the gap. by Marcelo Azevedo, Magdalena Baczyńska, Ken Hoffman, and Aleksandra Krauze (McKinsey & Company)

9 — Ver por exemplo “Aluminium, sulphur and salt batteries. Cheaper than lithium-ion, for homes and EV charging stations” September 7, 2022 by David Chandler

10 — Projeto PVCROPS – Building Integrated PV, Projeto financiado pela U Europeia com a participação da Universidade de Évora, Instalação e ensaio de uma bateria de fluxo Vanadio Redox. Adélio Mendes, FEUP, LEFABE e o desenvolvimento de baterias de fluxo Vanádio Redox

electricidade só no momento da satisfação da procura. É o que se pretende alcançar pela via do solar de concentração (CSP), termoeléctrico, em centrais que reproduzem em absoluto as centrais térmicas convencionais, com a energia solar durante o dia a ser armazenada sob a forma de calor (em sais fundidos, a 560°C), para uma produção de energia desfasada no tempo, à noite ou nos dias seguintes. Esta tecnologia é desenvolvida em Portugal, em colaboração com outros países da União Europeia (sobretudo na Cátedra das Energias Renováveis da Universidade de Évora [7]¹¹).

O armazenamento de energia pode ser encarado de outras formas. Por exemplo um sistema fotovoltaico numa aplicação residencial, pode ter o “excesso” de energia em determinado momento do dia se consumido em casa, canalizado para fazer funcionar o ar condicionado ou o sistema de aquecimento, tratando a casa como armazenador de energia sob a forma térmica, para fins de conforto e também para conservação da própria casa-controlo de humidade.

A produção de um combustível como o H₂ por via renovável, pode ser encarada como uma forma de armazenar energia. O H₂ verde e outros combustíveis sintéticos (ver adiante) são vectores energéticos, armazenando energia entre a produção e o seu consumo (tipicamente desfasado no tempo).

2.1.5.3. A PRODUÇÃO DE ENERGIA NO FUTURO

2.1.5.3.1. ELECTRICIDADE

Como ficou explicito, a produção de eletricidade renovável em Portugal está hoje dominada pela hídrica e pela eólica.

Como se indicou, no futuro próximo, a energia solar aumentará significativamente a sua penetração pelo que, em Portugal, nos aproximaremos de uma repartição muito mais perto de 30% para cada uma destas formas de energia.

Outras renováveis poderão a vir a entrar no mix – a das ondas, por exemplo – mas a tecnologia não está ainda no mesmo grau de maturação.

11 — M. Collares-Pereira, D. Canavarro, L.L. Guerreiro, *Linear Fresnel reflector (LFR) plants using superheated steam, molten salts, and other heat transfer fluids*, *Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology*, ISBN: 978-0-08-100516-3, Pages 339–352, 2017, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100516-3.00015-0>

O importante é perceber que não estamos dependentes de isso acontecer, para termos uma presença dominante das Renováveis.

No caso da energia eólica, com uma presença em Portugal que já tem uns anos e uma indústria associada (o processo de instalação dos geradores eólicos iniciou-se há 20 anos), passará por uma evolução interessante: (i) substituição de geradores das gerações anteriores pelos geradores de maior dimensão (>3MW) de hoje, uma evolução que aproveita as infraestruturas já desenvolvidas e permite produzir mais em cada local (Repower) e (ii) a possibilidade de se estender a produção ao “offshore”, explorando a nossa costa com médias de disponibilidade de vento mais elevadas.

Alguns dados sobre a energia eólica (Wind Energy IEA, September 2022 [8]) a nível mundial são: ~830 GWp instalados até 2021 para uma produção de 1870TWh e um crescimento até 3200 GWp para uma produção de 8000TWh no Cenário Net Zero de 2030.

No caso da energia solar fotovoltaica (PV) a produção de painéis solares faz-se hoje sobretudo com o domínio de empresas chinesas, em quantidades e custos que dificilmente são hoje possíveis noutros sítios do Mundo.

A China (IEA Solar PV, 2021 [9]) foi responsável pelo aumento de 38% da capacidade de produção de PV no mundo, seguida pelos EUA (17%) e pela EU (10%)

A capacidade instalada de PV no Mundo aproxima-se de 1000GWp (uma produção de 1000TWh) e deverá (IEA-Net Zero Scenario [10]) atingir 5000GWp (para uma produção de 7400TWh) em 2030. Os rendimentos de conversão anunciados no mercado para a tecnologia mais comum – o Silício cristalino – excedem hoje os 20%, i.e. > 200Wp/m²

A hegemonia comercial chinesa tende hoje a ser recuperada por outros países (por exemplo, os Estados Unidos e a EU) sobretudo para si próprios. Há também inúmeros desenvolvimentos para nichos de mercado em aplicações especiais: vidros activos semitransparentes, telhas activas, etc.

Contudo, onde haverá mais evolução, será na forma da oferta. Para lá da produção centralizada, em centrais que emulam a produção centralizada convencional, as Renováveis em geral, mas sobretudo o solar fotovoltaico, permitem a produção descentralizada.

Esta vai crescer muito e, em Portugal por exemplo, partilhar uma fatia importante dos 9,9GW referidos acima para o fotovoltaico. Trata-se da colocação de painéis solares nas nossas casas e nos edifícios em geral, bem como na indústria, transformando os consumidores clássicos em produtores de energia (consumers e prosumers, na terminologia inglesa). Quando em excesso para o consumo próprio (autoconsumo) a energia produzida pode ser injectada na rede e ser absorvida por esta, para consumo por outro consumidor. A novidade em franco desenvolvimento é que, em vez de simplesmente se injectar o excesso na rede, este pode ser gerido numa

perspectiva de Comunidade Energética (CER), uma gestão em conjunto com a produção de outros prosumers, potenciando grandemente o valor da energia produzida, frente à sua compra simples e direta pela rede, com um valor muito baixo.

A legislação portuguesa [11] ¹² nesta matéria tem sido particularmente feliz e avançada.

Vários operadores estão disponíveis neste novo mercado das CER – Comunidades de Energias Renováveis¹³. Um dos tipos de proposta que as CER fazem aos seus membros, é o de não necessitarem de fazer o investimento no sistema fotovoltaico que ocupará os telhados de cada um, e apenas fazerem um contracto de aquisição de energia com a CER, a uma tarifa muito mais baixa que a convencional (valores até 40% mais baixos) fixa por um período de 15 anos e com várias opções possíveis para os sistemas nos 15 anos seguintes.

2.1.5.3.2. CALOR

Já se fizeram algumas referências ao solar térmico, nomeadamente para a produção de eletricidade. Adiante a bioenergia será tratada em capítulo próprio.

Falta referir o papel importante para a produção de calor (e frio) que pode ser desempenhado pela energia solar. Desde logo por via dos ganhos solares em edifícios (solar passivo) mas também para aplicações como águas quentes domésticas, aquecimento e arrefecimento (tecnologia da absorção) e, sobretudo, com os avanços tecnológicos de hoje em calor de processo para a indústria (por exemplo, produção de vapor entre 180°C e 250°C). Ao longo dos anos tem havido muito investigação em Portugal nesta área [12]¹⁴ e até indústria de fabrico de concentradores solares e outros colectores. Mais uma vez o centro principal de I, D&D hoje em Portugal está na Cátedra de Energias Renováveis da Universidade de Évora.

A energia Solar permitirá, por via eléctrica e por via térmica directa substituir uma parte do consumo dos combustíveis fósseis, muito em especial o gás natural, em aplicações industriais e domésticas.

¹² — Por exemplo Decreto lei 15/2022

¹³ — Greenvolt/Energias Unidas, Cooperativa Coopernico, etc.

¹⁴ — Por exemplo, D. Canavarró, J. Chaves, M. Collares-Pereira *Improved design for linear Fresnel reflector systems*, *Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology*, ISBN: 978-0-08-100516-3, Pages 45–55, 2017, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100516-3.00003-4>

2.1.5.4. A DISPONIBILIDADE DE RECURSOS PARA A PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS RENOVÁVEIS

2.1.5.4.1. CONSUMO DE ENERGIA NO FABRICO (ENERGY RETURN ON ENERGY INVESTMENT)

Com frequência ainda se escuta a afirmação de que os painéis fotovoltaicos necessitam de muita energia (de origem fóssil!?) para a sua fabricação, pelo que não seriam uma resposta adequada às questões de energia do futuro. Já em 2004, o NREL – National Renewable Energies Laboratory (EUA) publicava por encomenda do DoE – Department of Energy (EUA), uma análise PV FAQs [13]¹⁵ sobre esta questão e concluía que, com a tecnologia daquela altura, as várias tecnologias (do Silício Cristalino ao Silício Amorfo e outros filmes finos) recuperavam, com a sua produção de energia, a energia investida na fabricação entre 4 anos (Si-C) e 1 ano (outros-filmes finos). Os cálculos foram, então, feitos para 12% de rendimento de conversão. Hoje, no caso do Si-c, os valores do rendimento de conversão estão bem acima de 20% de rendimento, pelo que estes cálculos dariam (sem mais considerações sobre a própria tecnologia de fabrico, menor espessura dos painéis, etc.) um resultado entre 0,5 anos e 2 anos. Isto é, este é um “não problema”, para uma tecnologia que já mostrou operar pelo menos por 30 anos.

Cálculos semelhantes, com resultados semelhantes têm sido feitos para os geradores eólicos (1 ano de produção para recuperação da energia usada no fabrico: EricK Lantz, NREL [14])

Mas, e muito importante, este tipo de preocupação assume ainda menos importância à medida que a energia eléctrica empregue no fabrico vai sendo cada vez mais de origem renovável.

2.1.5.4.2. MATERIAIS: RECURSOS, A QUESTÃO DAS TERRAS RARAS E DE OUTROS ELEMENTOS

Quanto aos materiais propriamente ditos para a produção de painéis fotovoltaicos, falamos sobretudo de Silício, um dos elementos mais abundantes na Terra. Mas, é verdade que os painéis fotovoltaicos e os geradores eólicos usam quantidades diminutas de elementos menos abundantes, entre os quais se incluem materiais da categoria genérica das

Terras Raras (TR)¹⁶. No caso dos geradores eólicos há o recurso ao neodímio para os ímãs, por exemplo. Um sem número de outros objectos/sistemas que usamos na nossa vida de todos os dias também. Por exemplo: a electrónica em veículos de todos os tipos, discos rígidos dos computadores, baterias, fibras óticas, telemóveis, etc.

Vale a pena registar alguns aspectos mais salientes. Chamam-se “raras”, mas não são assim tão pouco abundantes: o que se quer dizer é que existem em concentrações que, com muita frequência, não viabilizam a sua mineração (algo que também é relativo, evolui com o tempo). As reservas mundiais totais de TR situam-se cima de 120 milhões de toneladas [15]. Em 2030 estima-se uma exploração de 280 000 ton/ano. Com um consumo desta natureza estamos a falar de centenas de anos de duração do recurso. Nota: há elementos mais abundantes do que outros e esta é uma estimativa feita para todos, em conjunto.

A China é hoje o maior produtor a nível mundial dos TR e tem entre um terço e um quarto das reservas mundiais. Uma das razões para o domínio que tem do mercado está directamente relacionada com o baixíssimo custo de produção que tem, com um enorme desrespeito pelo ambiente.

Mas esta produção poderia ser feita noutros termos, mais equilibrados, mas também mais caros. Isto é, a busca permanente da redução de custo a qualquer preço, tem aqui uma linha vermelha de sustentabilidade: teremos que pagar mais para reduzir os impactes. Mas não muito mais, já que falamos de quantidades pequenas, produto a produto.

Esta ideia pode e deve aplicar-se mesmo no caso do fotovoltaico, pois fica hoje já aparente que os painéis fotovoltaicos são mais baratos do que poderiam/deveriam ser! I.e., pode bem continuar a ser, de longe, a forma mais barata de produzir energia eléctrica hoje, e tolerar um custo ligeiramente superior e que reflecta uma produção limpa destes materiais. O mesmo se poderá dizer para todos os componentes da indústria electrónica.

Contudo sublinhe-se que o fotovoltaico não está criticamente dependente como estão os geradores eólicos (ou os veículos eléctricos, por exemplo) das TR. O silício é o material esmagadoramente dominante na produção mundial actual de células solares e o metal de uso predominante é a prata para os contactos metálicos. Mas existem alternativas à prata que provavelmente prevalecerão no futuro, independentemente destas questões

¹⁶ — As 17 TR são: lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), scandium (Sc), and yttrium (Y).

[15]

de eventual escassez. Contudo é verdade que há algumas tecnologias de células solares que usam um leque de “minor metals” que incluem índio, gálio, selénio, cádmio, telúrio, que são, em geral, subprodutos da refinação de metais básicos como o cobre, níquel, o zinco, e que hoje não causam preocupação importante neste contexto.

Um aspecto essencial e a que deveremos dar a máxima importância, é o de que, em fim de vida, os produtos da electrónica, tendem ainda a não ser reciclados, basta pensar na quantidade de aparelhos de tudo e mais um pouco, que temos em casa e que não deitamos fora. É evidente que o que deverá acontecer é a sua reciclagem, numa perspectiva de economia circular. Reciclar vai ter que ser a prática comum. Será mais caro? Não necessariamente, numa perspectiva global, já que se reduzem os impactes ambientais da exploração destes recursos, fazem-se durar mais os recursos e tudo isso tem o seu valor próprio.

Por outro lado, há uma evolução tecnológica forte que conduzirá a formas (para lá da reciclagem) de combater uma eventual escassez de TR dentro de algumas dezenas de anos, quer para as células fotovoltaicas quer para as baterias, por exemplo, como comentámos.

2.1.5.4.3. A DISPONIBILIDADE DE TERRENOS (ÁREAS) PARA A INSTALAÇÃO EQUIPAMENTOS

Durante muito tempo a instalação de geradores eólicos teve de lutar contra a subjectividade negativa dos cidadãos, confrontados com a presença destes no alto dos montes. Essa questão coloca-se hoje cada vez menos, pois vai-se ficando habituado a vê-los na paisagem. E, para as soluções “offshore”, esta questão não tem expressão.

A objecção que hoje aparece com mais insistência é contra as centrais fotovoltaicas, sobretudo pela suposta competição com a ocupação de terrenos de aptidão agrícola. Tenderá também a desaparecer porque há muito terreno disponível com menor ou nula aptidão agrícola e, por outro lado, crescem as aplicações ditas agrivoltaicas, uma simbiose de tecnologias e objectivos que provam que este acabará por ser também um não problema. Claro que, entretanto, poderá haver abusos, sobretudo no contexto de leilões para a atribuição de potencia fotovoltaica em terrenos com acesso directo à rede eléctrica. Ou a tentação de fazer sistemas ultra-grandes num só local (IGW, por exemplo, com impactes ambientais mais prováveis) em vez de os dividir em sistemas mais pequenos com pontos de ligação em locais diferentes da rede, causando muito menos impacte. Estas são questões que não são do foro da técnica, mas da política.

Duas outras situações merecem destaque neste escrito:

1) O chamado fotovoltaico flutuante, em albufeiras de barragens ou em lagos, uma utilização muito lógica de áreas disponíveis, bem como de ligações à rede.



FIG. 3
PV FLUTUANTE, ALQUEVA

2) Fotovoltaico em coberturas- telhados

A colocação ideal para painéis solares estacionários para maximizar a produção anual é a de uma inclinação à latitude do lugar menos 5° , e com azimute sul. Praticamente nenhum telhado satisfaz estas condições e, por isso, é frequente ver estruturas inclinadas e desalinhadas com as águas dos telhados, sem qualquer necessidade para isso.

A penalização por desvio da situação ideal é muito pequena, o que minimiza este problema e permite abordar a situação da descentralização de produção via fotovoltaico com muito mais liberdade e sem recurso a estruturas e outras situações complicadas.

A Fig. 4 mostra o valor da penalização para várias inclinações e azimutes.

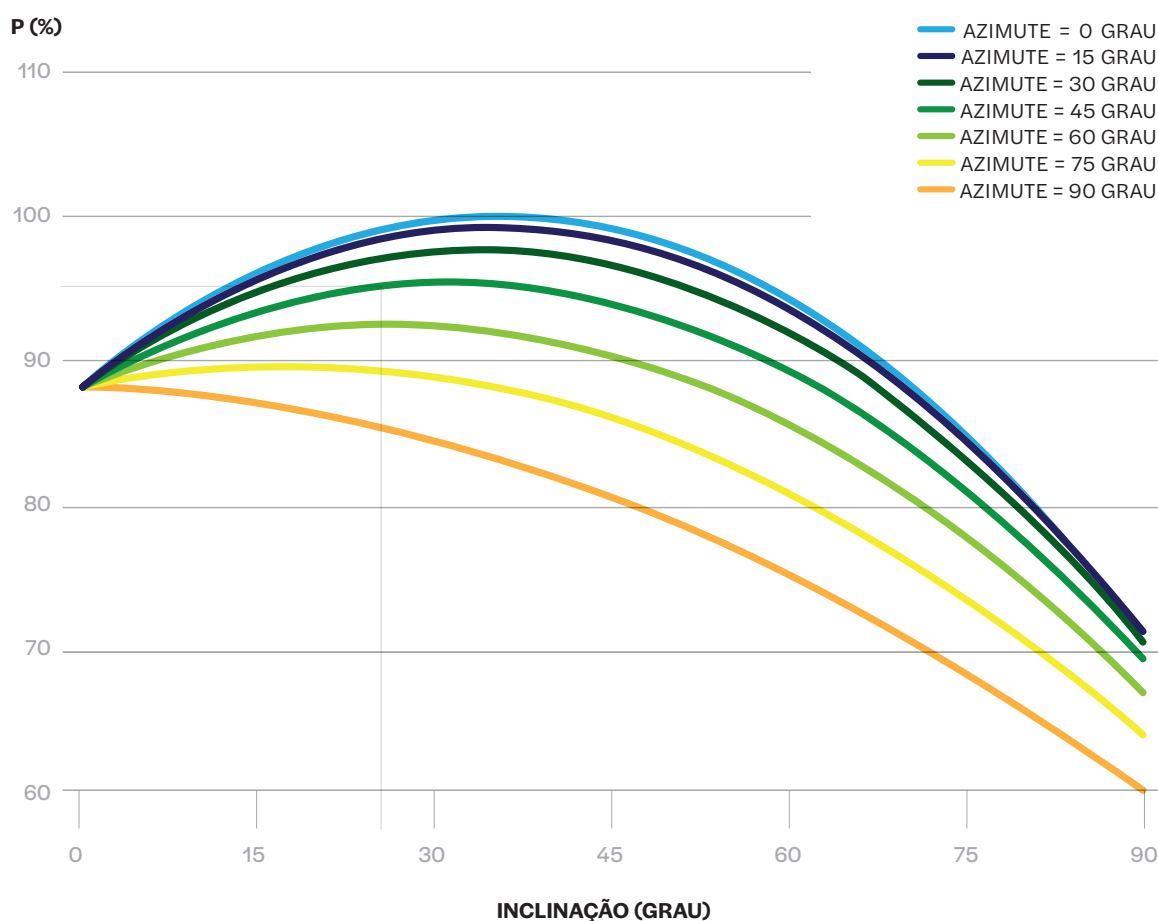


FIG 4.
PENALIZAÇÃO DA ENERGIA DISPONÍVEL EM
TERMOS ANUAIS SOBRE UMA SUPERFÍCIE PLANA,
POR EFEITO DA ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO [16]

(Manuel Collares Pereira “Energias Renováveis: a opção inadiável” (1998)), em relação com o valor máximo (inclinação a latitude menos 5° e azimute 0°); o gráfico foi feito para a latitude 38, 75° (Lisboa)

Como se pode observar na Fig. 4, por exemplo, a adoção de uma colocação horizontal¹⁷ – em terraços ou coberturas planas – introduz apenas uma penalização de 12%!

Os painéis fotovoltaicos têm um peso da ordem de 12kG/m², pelo que podem ser colocados directamente na maior parte das coberturas, incluindo as coberturas fabris. Terraços planos também podem ser directamente utilizados para este efeito e outras áreas como as de parques de estacionamento podem ter coberturas com painéis fotovoltaicos.

¹⁷ – A colocação estritamente horizontal não se recomenda; é necessário introduzir sempre alguma inclinação (10° a 15°) por razões limpeza dos painéis e a sua relação com a precipitação.

2.1.5.5. BIOENERGIA

Um tema vasto. Inclui biomassa sólida (lenha, etc.), biocombustíveis (bioetanol, biodiesel), bio metano, para aplicações que vão da pura produção de calor, à produção de electricidade em centrais térmicas e aos transportes. Uma consulta ao texto da EU sobre este assunto (site Energy e por exemplo [17] Renewable Energy Directive 2108/2001) mostra como é complexo e implica com outras políticas [18]¹⁸, nomeadamente as da Agricultura e as da própria Sustentabilidade. Uma exigência a destacar é que as centrais térmicas a biocombustíveis, devem demonstrar emissões directas de gases de efeito de estufa, 65% abaixo da alternativa relevante em combustível fóssil. Se for biomassa sólida, esta exigência sobe para 70% (80% em 2026).

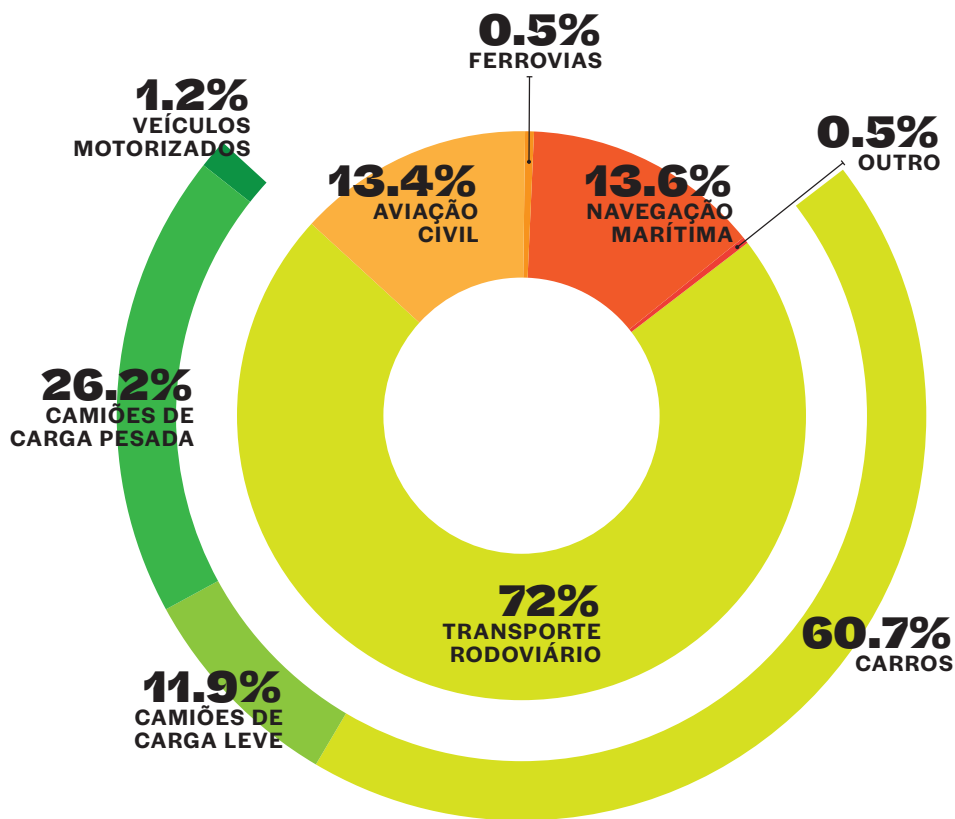


FIG. 5
EMISSIONES DE CO2 NA EU, TRANSPORTES
 Repartição de emissões tendo em conta o transporte (2016)
 Fonte: Agência europeia do ambiente

Dos biocombustíveis espera-se (2050) uma contribuição significativa (até 14% para a área dos transportes, por exemplo). Actualmente os biocombustíveis líquidos correspondem a cerca de 5%, misturados na gasolina (etanol, até 10%) e biodiesel (até 5%).

Um problema particularmente importante na queima dos combustíveis líquidos, é o que se relaciona com os transportes aéreos e marítimos, consumidores de cerca de 20% do total dos combustíveis, mas com impactes de peso superior nas emissões, sobretudo os transportes marítimos com uma forte dependência dos óleos pesados. [19]

A mistura de combustíveis bio nos combustíveis fósseis é uma forma de atenuar o impacte das emissões.

Estes dois sectores, transportes marítimos e aéreos, necessitarão de uma evolução forte, com mais combustível bio, mas também com os novos combustíveis (sintéticos, H₂), tratados no próximo capítulo.

Ainda sobre a biomassa sólida (matéria-prima de origem vegetal, queimada ou usada para produção de electricidade, como a madeira, resíduos de madeira, plantações para a energia, resíduos agrícolas e industriais e domésticos), interessa destacar que a IEA (Net Zero Scenario by 2050) [10], refere que o uso tradicional de biomassa deve ser diminuído a partir de 2030. Por biomassa tradicional entende lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas, excrementos de animais secos para cocção e aquecimento no sector residencial, em processos com rendimentos muito baixos (inferiores a 20%) e dependentes de fornecimentos irregulares/desflorestação de biomassa. Simultaneamente considera que a parte que cabe à bioenergia dita “moderna” (cerca de 6,6% no computo total da energia no mundo de hoje) deverá alcançar 13,1% em 2030 e 18,75% em 2050.

A terminar este capítulo importa notar que muitos especialistas¹⁹ [51] da área da sustentabilidade e do ambiente, olham de forma muito céptica para o verdadeiro impacte do desenvolvimento deste sector dos biocombustíveis, sobretudo quando se faz o balanço completo do carbono, entre a capacidade do solo de o fixar e consequências a nível de emissões GEE do cultivo intensivo de novas espécies. Com frequência o resultado pode ser, e é, negativo. Assim, as metas traçadas e os métodos empregues, exigem um controlo muito mais apertado do que está a acontecer sobre a desflorestação, sobre a competição entre a produção de culturas para combustíveis versus a cultura para produção de alimentos, recurso descontrolado a fertilizantes, abandono de técnicas tradicionais de pousio e ou de alternância de culturas, etc.

19 — Peter Fairley, The biofuel course correction, The circular economy, Scientific American, January 2023

2.1.5.6. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E O FUTURO, NO RESTO DO MUNDO

Existe uma enorme assimetria entre países ricos e pobres. Números redondos, 4/5 da Humanidade consomem apenas 1/3 da Energia. O eufemismo de países em vias de desenvolvimento, reflecte a necessidade de um aumento significativo de consumo de energia per-capita. Aliás a erradicação da pobreza tem como condição necessária o aumento do consumo de energia per-capita.

Para os mais de 1000 milhões que vivem abaixo do limiar de pobreza, trata-se de poder ter energia no mínimo para cozinhar, ter uns litros de água potável e alguma capacidade para ter luz e energia para um radio, uma TV, etc. Com estas condições asseguradas, estes cidadãos melhoram a saúde, iniciam o acesso à cultura (luz para estudar...) e a alguma actividade de produção própria, geradora de rendimento...

É evidente que não será sustentável alterar essa situação com os combustíveis fósseis que se pretendem reduzir/eliminar. É necessário trazer a necessidade da descarbonização da economia, para as economias, no fundo as novas economias de desenvolvimento de todos esses países.

Tudo o que se disse sobre suficiência energética e eficiência energética continua igualmente válido aqui, mas as energias renováveis são incontornáveis e únicas, porque possuem várias características que são essenciais:

- Estão naturalmente distribuídas e até mais abundantes no chamado “Sun Belt” – entre trópicos– onde vive a maior parte das pessoas
- Produção de energia junto ao consumo, pelo que não haverá a mesma pressão que houve nas economias dos países desenvolvidos para o desenvolvimento de infra-estruturas (de transporte e distribuição).

É possível esperar que se passe com a energia o que se passou e passa com a realidade “wireless” das telecomunicações, tornando-as rapidamente viáveis e acessíveis, onde há 20 ou 30 anos se encarava o problema insolúvel do custo da extensão de uma rede com cabos para resolver o problema. E há telemóveis hoje por todo o continente africano, por exemplo! Isto é, as renováveis poderão vir a ser como os telemóveis da energia...

Claramente a Energia Nuclear, o seu elevadíssimo custo, exigência tecnológica a ela associada, dependência de abastecimento de combustível nuclear e o facto de a produção centralizada exigir uma rede de transporte e distribuição apropriadas de energia eléctrica, não vai poder ser a alternativa massiva para o mundo em desenvolvimento.

É natural que, de todos os combustíveis fósseis, seja o gás natural o que terá um papel dominante na transição energética (aliás em todo o mundo): por ser mais abundante que o petróleo, estar mais distribuído (mais fontes,

mais dispersas, reduzindo a hegemonia de certos países e grandes empresas da energia) e ser de queima mais limpa (do ponto de vista do ambiente).

Há uma enorme dependência da lenha (biomassa sólida e outros resíduos) nos países em vias de desenvolvimento, sobretudo nos meios rurais e suburbanos. A queima, com rendimentos baixíssimos, tem dois efeitos nefastos: sobre o ambiente, através da desflorestação associada, e sobre a saúde (doenças respiratórias, doenças do foro ocular, etc.) que urge contrariar com urgência. Sobretudo com novas tecnologias de equipamentos de queima, equipamentos de baixo consumo de electricidade solar para necessidades básicas e de equipamentos para a cocção de alimentos. Este último é um tema onde tem havido investigação [20]²⁰ e desenvolvimento industrial²¹ em Portugal.

2.1.6. A ENERGIA NUCLEAR

Este tema tem vindo a ser referido ao longo do texto, sobretudo em contraste com a alternativa das Renováveis. Mas, alguns aspectos importantes merecem ainda destaque, sobretudo sobre a Energia Nuclear de Fissão.

A contribuição do Nuclear para produção de Energia Eléctrica no Mundo hoje, situa-se em torno de 10% (IAEA – International Atomic Energy Agency, PRIS 2019) [21], com um parque de 443 reactores. Há muito reactores que estão a atingir o seu fim de vida e a ser encerrados, e alguns países como o Japão e, sobretudo, a Alemanha decidiram abandonar a Energia Nuclear. Em 2019 começou a registar-se uma diminuição de capacidade total instalada. Algumas dezenas de reactores (54, em 2019) estão em construção. A IEA – International Energy Agency, nas suas previsões para o futuro, mantém o valor de ~10% para a contribuição do nuclear até 2050, o que corresponde a algum aumento da capacidade instalada (IEA World Energy Outlook, 2022) [22]. Esta previsão, na opinião do autor, resulta, em boa parte, do próprio ADN da Agência na sua relação com a Energia Nuclear.

Serão muito grandes as dificuldades que terão de ser enfrentadas para este resultado. Há um conjunto de razões. Destacam-se:

- O enorme custo do nuclear, mesmo sem considerar os custos escondidos, por comparação com o das alternativas (“too expensive to matter”?!)

20 — M. Collares Pereira, J.P. Almeida, J. Correia de Oliveira “Description and testing of a novel solar box type cooker incorporating CPC type optics” ISES Solar World Congress, Goteborg, June, 2003

21 — SUN CO; SUN OK

- A questão não resolvida do armazenamento dos resíduos
- Os enormes custos de desmantelamento dos reactores que atingem o fim da sua vida (a esmagadora maioria dos existentes)
- A dependência tecnológica e a dependência de fornecimento de matéria-prima associada (urânio enriquecido²²)
- Uma opinião pública cada vez mais contrária ao nuclear
- Um período longuíssimo entre a decisão e a entrada em funcionamento do reactor (>10anos, hoje mesmo, >15 anos, em vários casos muito recentes)
- O facto de não aparecer como o mesmo caracter de indispensável como se pensava que seria, há alguns anos atrás, face à alternativa das Energias Renováveis, limpas, de muito mais baixo custo, e presentes em todo o lado, no mundo habitado de hoje. Uma enorme diferença!

No Anexo 3 apresenta-se uma discussão deste tema com maior detalhe (adaptada do livro “Jeremias e o Desenvolvimento Sustentável”, Manuel Collares Pereira, ISBN 978 972 241978 9, Livros Horizonte, que integra agora o Plano Nacional de Leitura [23]) incluindo uma abordagem às novas tecnologias que estão a ser propostas de reactores ditos de pequena dimensão (SMRs), em alternativa ou para resolver os problemas dos de maior dimensão.

O anexo 3 também aborda o tema da fusão nuclear, tecnologia que ainda necessita de dezenas de anos de desenvolvimento, até eventualmente poder apresentar-se com propostas comerciais.

2.1.7. COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS, H₂

Uma vez mais estamos perante um tema muito vasto e cujos desenvolvimentos dão hoje os primeiros passos.

Para esta resenha de tecnologias e caminhos para o futuro, destacam-se duas vias importantes

- A dos combustíveis sintéticos, com input de energia solar térmica (em desenvolvimento)
- O H₂, por via da electrólise da água ou mesmo da sua termólise

Um caminho para os primeiros é o da pirólise da biomassa, com um input térmico da queima da própria biomassa, mas, sobretudo, com

²² — O Urânio U235 existe na natureza com teores abaixo de 1% (hoje, em média, 0,5%); ora, as tecnologias de fissão mais comuns, exigem um teor de U235 (urânio enriquecido) da ordem de 3,5%, um processamento que exige uma competência tecnológica própria e, hoje, praticado em apenas alguns países, que o fornecem aos demais.

energia solar térmica de concentração, com capacidade de produção das temperaturas (centenas de grau Celcius) necessárias, na ausência (total ou parcial) de oxigénio.

Um resultado é o chamado gás de síntese (CO+H₂) que pode ser usado directamente ou transformado em combustíveis líquidos convencionais, hidrocarbonetos líquidos (processo Fisher-Tropsch).

O caminho para o segundo, o H₂ verde [24]²³, percorre-se hoje pela via do electrólise, recorrendo a electricidade não fóssil, sobretudo a solar. O recurso dominante às renováveis justifica-se pelo custo mais baixo que proporcionam na produção de electricidade.

O rendimento e o custo dos electrolisadores são os factores dominantes na futura economia do H₂ [25]²⁴.

Aos valores de hoje (custos de electrolisador, energia, água, etc) o H₂ verde situa-se entre 3 e 4 €/kg [26]²⁵. Estima-se que alcance 1,5€/kg já em 2030, por evolução da tecnologia e custo dos electrolisadores e pela redução do custo da energia (de 3 para 2 c/€/kWh com o PV).

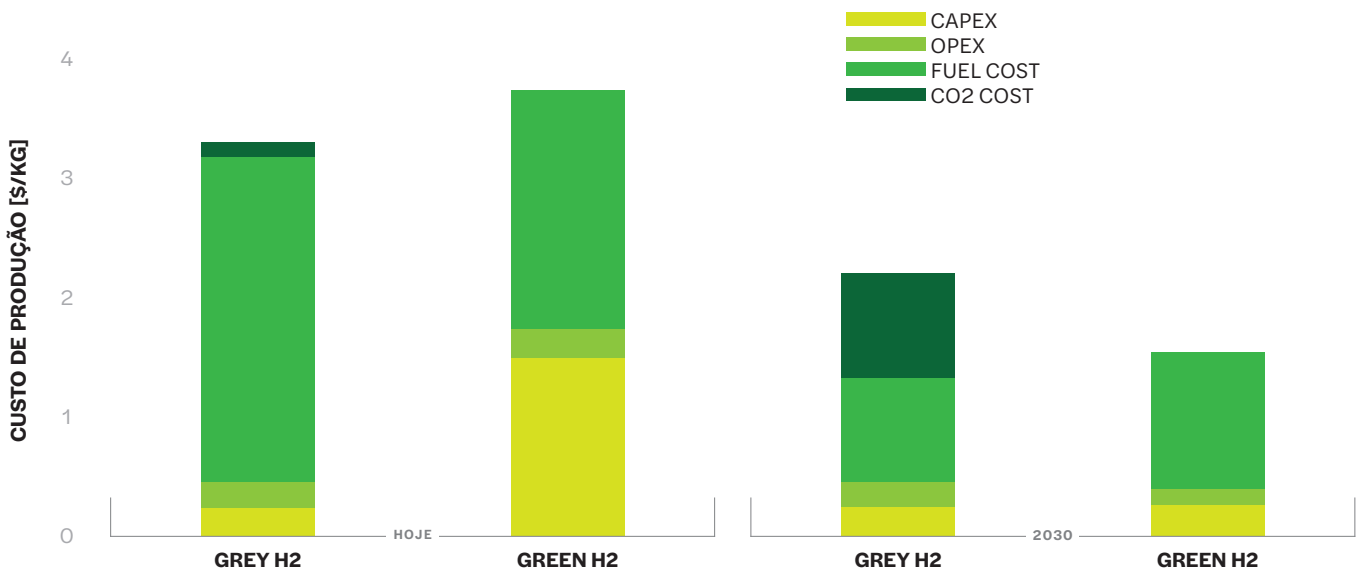


FIG.6
CUSTOS DE PRODUÇÃO DO H₂ (HARRY MORGAN, [26])

²³ — Green Hydrogen, a guide to policy making (IRENA-2020)

²⁴ — Green Hydrogen: reducing the cost needs scaling up of electrolyser plants

March 15, 2021(IRENA report) by Herib Blanco and Emanuele Taibi

²⁵ — Harry Morgan, why market dynamics will reduce the average price of green hydrogen to \$1.50/kg by 2030, Energy Transition, September 2022

A estes valores o H₂ adquire competitividade com o H₂ de base fóssil e com os combustíveis convencionais, para muitas aplicações, na indústria e nos transportes.

Enquanto se vão desenvolvendo aplicações, precursoras das utilizações futuras em escala muito superior, a tecnologia continuará a desenvolver-se, englobando também outros aspectos essenciais para a economia do H₂ verde: o seu transporte e armazenamento.

Um aspecto relevante é o facto de hoje não se usar ainda água do mar (ou águas salobras) para a electrólise referida acima.

O recurso a estas exige a dessalinização prévia, o que acrescenta ao custo do H₂ produzido. No entanto já há investigação no sentido do recurso directo à água do mar [27]²⁶.

Quanto ao armazenamento do H₂ verde, faz-se sobretudo em tanques pressurizados (muitas centenas de bar). Mas há várias outras formas de armazenamento [28]²⁷, liquefeito, em mistura com outros gases, em sólidos (por exemplo, em hidretos metálicos) e em combinação química com outros elementos (como o azoto, N) sob a forma de compostos como a amónia (NH₃). Esta última possibilidade é particularmente interessante, havendo muitas propostas nela baseadas [29]²⁸.

Uma nota mais sobre a produção de H₂ verde: a via da termólise da água (iluminação directa), na presença de catalisadores, pode fazer-se a temperaturas em torno de 800°C, temperaturas perfeitamente alcançáveis por concentradores solares. Rendimentos > 5% (energia solar para H₂) já foram alcançados e está-se no caminho para valores na ordem de 20% [30]²⁹

O H₂ verde prevê-se que vá desempenhar um papel importantíssimo na economia do futuro, na substituição dos combustíveis fósseis para a sua descarbonização.

Nota final: O ser verde depende 100% da energia eléctrica utilizada não ser de origem fóssil, nomeadamente de ser renovável! Não haverá dúvidas sobre isso se a electrolise for feita através dum sistema fotovoltaico ou eólico dedicado! Mas, se a energia vier da rede, enquanto a penetração

26 — The Open Fuel Cells Journal, 2010, 3, 1-7 11875-9327/10 2010
Bentham Open Open Access Hydrogen Production Using Sea Water
Electrolysis H.K. Abdel-Aal*, K.M. Zohdy and M. Abdel Kareem Higher
Technological Institute, Tenth of Ramadan City, Egypt

27 — Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office (DoE): Hydrogen Storage
28 — Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy A Study of Issues
Related to the Use Ammonia for On-Board Vehicular Hydrogen Storage U.S.
Department of Energy

29 — Drop-in Fuels from Sunlight and Air – Remo Schächli, David Rutz, Fabian
Dähler, Alexander Muroyama, Philipp Haueter, Johan Lilliestam, Anthony
Patt, Philipp Furler and Aldo Steinfeld
Nature, vol. 601: no. 7891, pp. 63-68, London: Nature, 2021.

das renováveis não se aproximar de valores percentuais muito elevados, o balanço do H₂ para as emissões é muito diferente. Este é um tema sobre o qual há uma discussão grande no contexto da União Europeia, já que os proponentes do H₂ afirmam que, se não houver tolerância para a alimentação da electrólise por fontes não renováveis (e também em períodos de ausência de fornecimento de energia renovável) a tecnologia do H₂ levará muito mais tempo a desenvolver-se [31].³⁰

2.2. OS MATERIAIS E A DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA

A evolução tecnológica permite encarar de uma outra forma a possibilidade de se promover a descarbonização da economia. Está associada ao recurso a novas práticas e procedimentos proporcionados pelo recurso a novos materiais, que têm uma relação completamente diferente com as questões da energia e do ambiente. O caso paradigmático é o da madeira no sector da construção.

2.2.1. A MADEIRA E A SUSTENTABILIDADE

A construção habitual, hoje, tem como base materiais como o cimento sob a forma de betão (juntando o aço ao cimento) e a alvenaria de tijolo ou de blocos de betão.

Estes materiais têm uma pegada positiva forte na produção de GEE – gases de efeito de estufa, aquando da sua produção e não são de todo sustentáveis.

As emissões associadas ao sector dos edifícios têm duas componentes [32] que constituem ~40% da totalidade das emissões e estão repartidas entre ~28% para o seu funcionamento/operação e 11% para sua construção.

Considerando apenas a produção de cimento, esta é responsável por entre 8 e 9% das emissões totais de CO₂ a nível mundial) [34]. As razões são duas: um processo de fabrico energia intensivo e hoje ainda dependente dos combustíveis fósseis e um processo químico de fabrico do cimento que é, ele próprio, emissor/libertador de CO₂.

30 — Marta Lovisolo Keith Whiriskey, “Cannibalising the Energiewende? 27 Shades of Green Hydrogen;” Bellona Europa 2022 <https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2021/06/Impact-Assessment-of-REDII-Delegated-Act-on-Electrolytic-Hydrogen-CO2-Intensity.pdf>

Estes valores são suficientes para se pensar que é muito importante actuar por esta via para a redução das emissões.

Na realidade a indústria do cimento está preocupada com esta questão e faz hoje um esforço sério para reduzir a sua pegada.

Mas há uma alternativa poderosa que é a de considerar a construção sobretudo com madeira e outros materiais naturais (Ex: a cortiça, o bambu, resíduos, fibras, etc.).

A razão é a de que o carbono constituinte da madeira é um produto directo do sequestro de CO₂ da atmosfera feito pelas arvores que a produzem, através do efeito da fotossíntese.

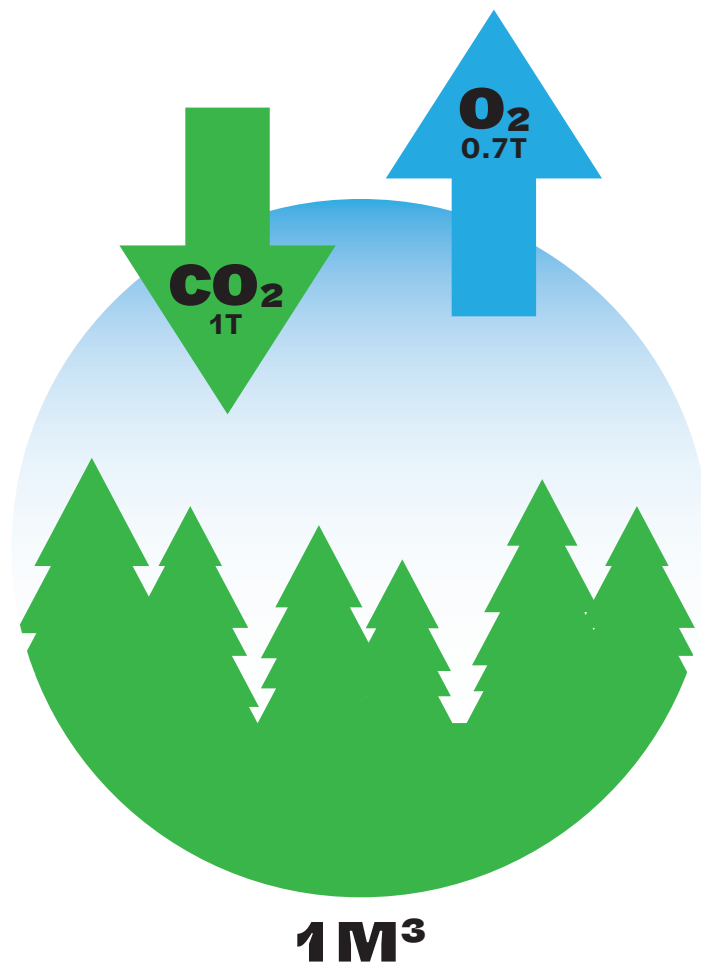


FIG.7
REFERENCIA [2] - INCORPORAÇÃO (SEQUESTRO)
DE CO₂ EM 1 M³ DE MADEIRA

Em média, por cada tonelada de madeira usada na construção em vez de outros materiais não naturais, há uma redução de emissões de CO₂ de ~2 toneladas [33]

Assim, a madeira tem sobre a atmosfera um efeito contrário ao da produção dos materiais convencionais. Falamos numa pegada de carbono negativa. É esta a grande vantagem do recurso a estes materiais naturais, poderosos na sua capacidade de combate directo às alterações climáticas [2].

No tema das vantagens ambientais devem apontar-se ainda outros aspectos muito positivos do uso da madeira. Em particular o facto de a madeira proporcionar ao edifício um comportamento térmico excelente, quer em termos das necessidades de arrefecimento quer de aquecimento, por ser um isolante natural e facilmente combinável com outros isolantes naturais, como a fibra de celulose, a cortiça, etc., e que têm a capacidade de reforçar, em muito, as suas características térmicas. Este facto, por sua vez, vai facilitar a sua combinação com soluções de arquitetura bioclimática, de suficiência e eficiência energética e junção de colectores solares fotovoltaicos e térmicos, para produção de edifícios NZEB – Net Zero Energy Buildings, uma ajuda brilhante para a transição energética e para o caminho do desenvolvimento sustentável. Tudo isto sem alterar, aliás mesmo a melhorar o conforto que se exige.

É claro que a utilização em larga escala da madeira que se prevê para o futuro, vai de mãos dadas com uma gestão da floresta, repondo cada árvore cortada, por outra ou outras, uma gestão que pode mesmo aumentar a capacidade de sequestro de CO₂ associada à floresta que seja simplesmente entregue a si própria. Por outro lado, esta valorização da floresta vai ser muito importante na redução de incêndios que ocorrem com maior incidência todos os anos (fruto das alterações climáticas).

2.2.2. UMA NOVA TECNOLOGIA DA MADEIRA

Nos próximos anos vamos assistir a uma revolução, com a utilização crescente da madeira e de outros materiais orgânicos no sector da construção, não só como mais um material presente nos edifícios convencionais ou em pequenas casas, pré-fabricadas, que hoje já nos são propostas, mas numa escala de verdadeira alternativa à construção tradicional, inclusive em edifícios de muitos andares [35].

Neste texto, quando se fala em madeira para a construção, não se está a pensar nas formas tradicionais da construção em madeira, com troncos e vigas de uma só peça, como em muitas situações tradicionais que nos são familiares. Está-se sim, a pensar, entre outras, em componentes para a construção de edifícios (mass timber) que resultam de uma forte evolução tecnológica recente e que têm nomes como CLT, Woodframe, Glulam.



FIG. 8
EDIFÍCIO DE 18 ANDARES NA NORUEGA,
INTEIRAMENTE EM MADEIRA

E o que são?

Explicando um pouco:

- O CLT - Cross Laminated Timber (madeira lamelada cruzada), obtém-se sobrepondo camadas sucessivas de tábuas, com cada camada colada de forma ortogonal à da camada anterior, até se atingir a espessura desejada. Dependendo desta espessura, o conjunto terá uma determinada resistência, com um resultado perfeitamente equivalente ao de uma laje clássica fabricada em betão armado com entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{5}$ do seu peso.

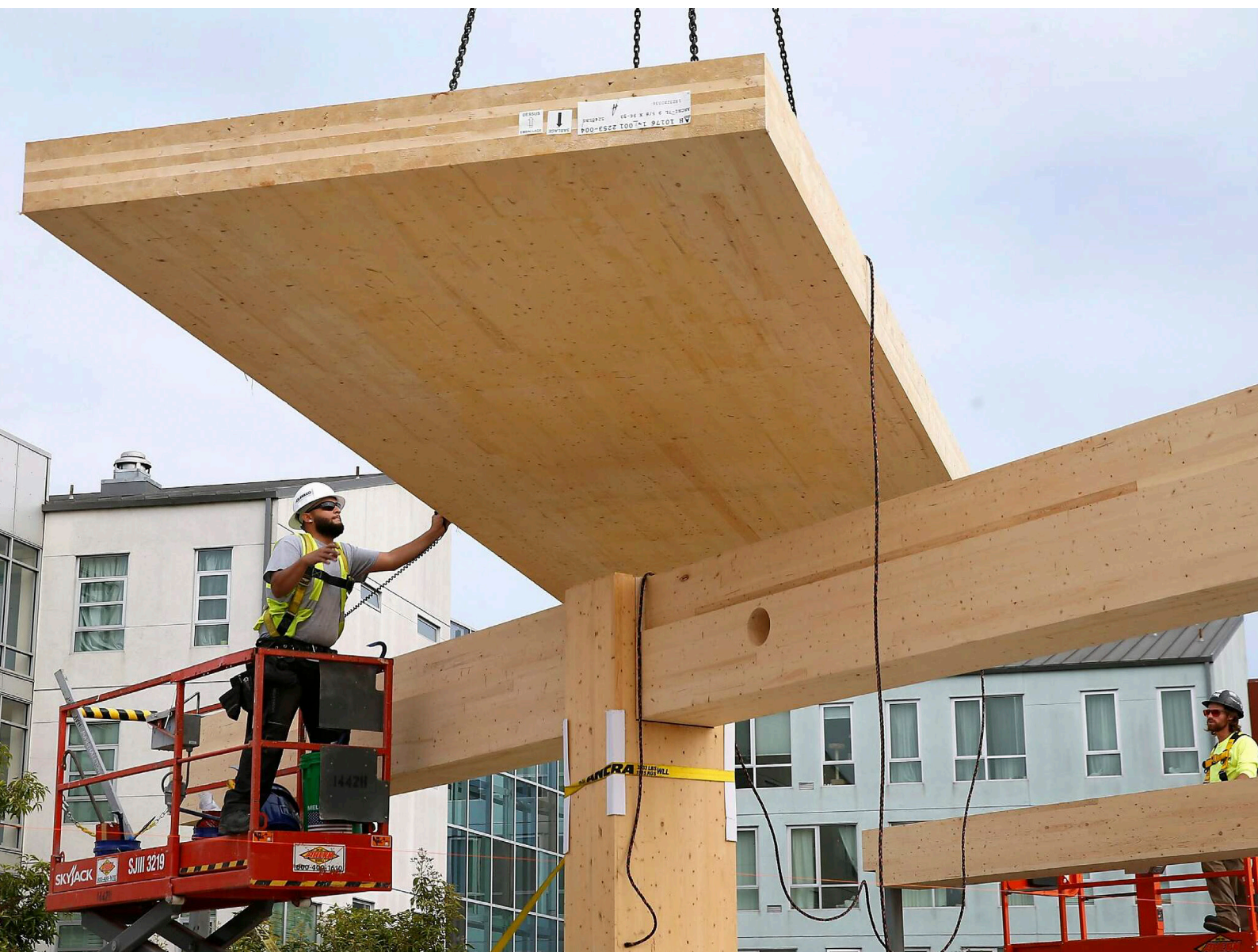


FIG. 9
LAJE DE CLT, EM COLOCAÇÃO NO EDIFÍCIO

– Uma componente Woodframe, é uma moldura de madeira enquadrando na sua espessura isolamento térmico (cortiça, fibras de celulose, etc.) com espaços para passagem de canalizações, cabos elétricos, etc.

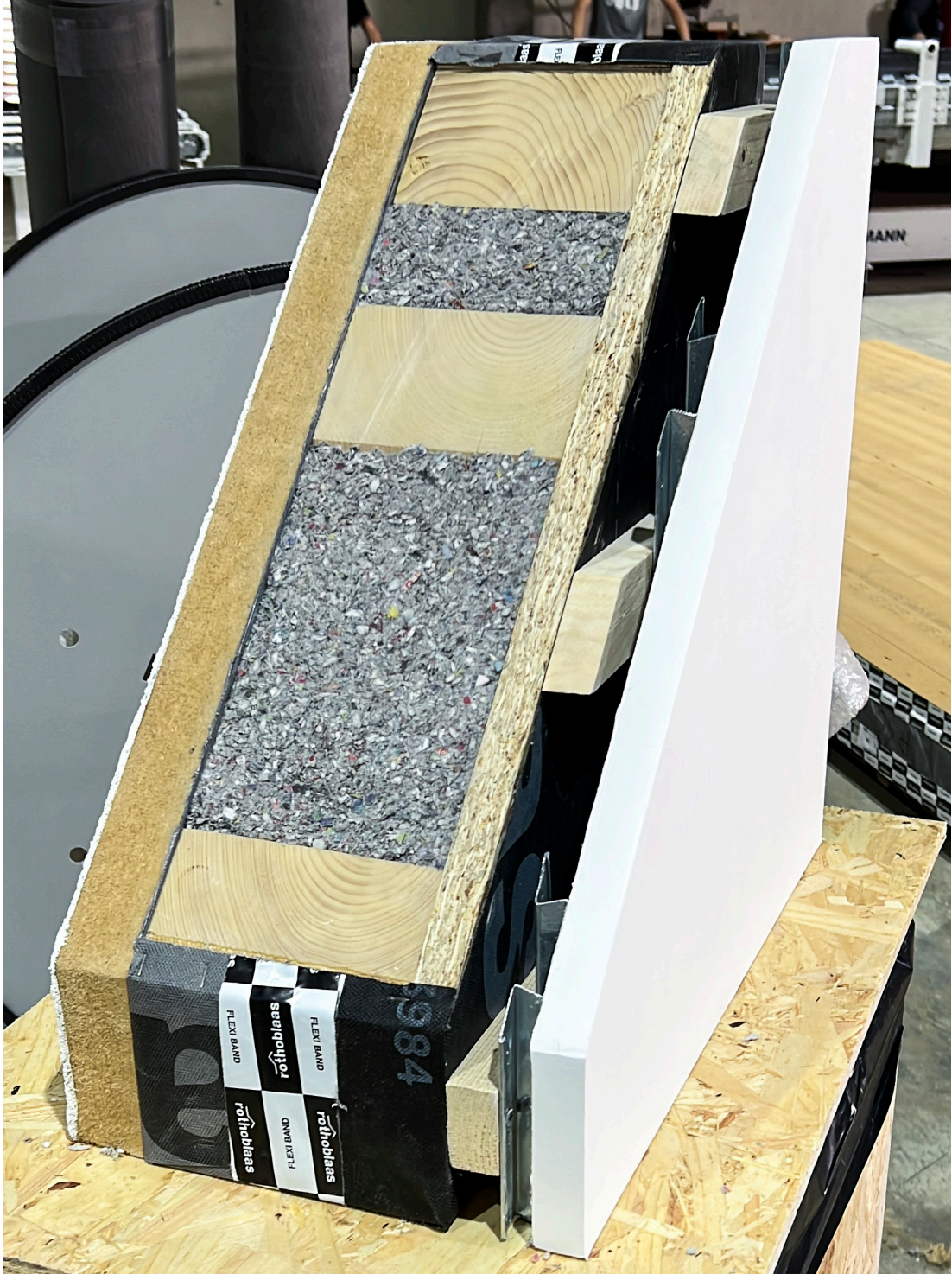


FIG. 10
SISTEMA WOODFRAME

– Um Glulam (madeira lamelada colada) é feito de laminas de madeira coladas umas às outras, para ser utilizado como vigas e pilares em sistemas porticados (ex: cobertura do Pavilhão Atlântico no Parque das nações, Lisboa), vãos, etc., com a orientação apropriada à da resistência pretendida.



FIG. 11
GLULAM (MADEIRA LAMELADA COLADA)

A madeira que se utiliza é a que tipicamente existe por toda a Europa, como o abeto, o pinho, o eucalipto, entre outras, com um tipo de crescimento mais bem-adaptado à gestão da floresta para este fim.

Estas componentes são produzidas em fábrica e permitem um outro tipo de evolução tecnológica que é o da pré-fabricação. Esta situação, por si só, permite reduzir de forma muito significativa os impactes ambientais associados à construção convencional, bem como os tempos de construção e um melhor controlo de qualidade construtiva.

A produção destas componentes³¹ pode fazer-se com o recurso a Energias Renováveis: ao processamento do tronco das árvores para a produção das tábuas, segue-se uma operação de secagem com consumo de energia térmica. Esta pode ser produzida pela queima dos desperdícios associados da matéria-prima. No resto do processamento utiliza-se energia eléctrica que pode ser, por exemplo, de origem fotovoltaica na cobertura da instalação fabril.

31 — Em Portugal estão a ser dados passos importantes neste caminho. Entre outros, um grande promotor imobiliário, a #Vanguard Properties, investe neste sector, tendo decidido concentrar toda a sua construção futura em edifícios de madeira e decidindo investir em toda a fileira, da floresta, à produção de componentes e à pré-fabricação (#Kozowood Industries, SA, Esposende)

A legislação da EU e de alguns países, já está a evoluir para impor e acelerar a transição para a madeira no sector da construção. Por exemplo, em França, em novos edifícios a partir de agora, tem de haver uma incorporação de pelo menos 50% de madeira.

2.3.

RECICLAGEM E A ECONOMIA CIRCULAR

(adaptado do livro “Jeremias e o Desenvolvimento Sustentável”, Manuel Collares Pereira, Livros Horizonte, 2020)

A Reciclagem é um conceito chave do desenvolvimento sustentável. Por todo o lado se têm dado passos nesta matéria, como com a separação do lixo, por exemplo. A reciclagem tem, em geral, uma poupança significativa de energia, a daquela que é necessária para transformar as matérias-primas de origem (por exemplo o minério bauxite no caso da produção de alumínio) no produto final que usamos. Ora, se, em vez de iniciar o processo com a matéria-prima de origem, podermos reciclar e começar a partir do produto reciclado, poupamos muita energia. Alguns valores são: 40 a 60% reciclando papel para produzir papel, 25% se for cartão, 10-15% no caso do vidro, 70% no caso do ferro e do aço, e 94% se reciclarmos as “latas” de cerveja, coca-cola, etc., para fazer outras a partir daquelas...”

Qualquer poupança de energia vai traduzir-se por menos combustíveis fósseis a serem queimados, logo menos CO₂, menos efeito de estufa, menos alterações climáticas

Este é o tipo de raciocínio está por detrás da muito falada economia circular. E não é só pelas questões da energia e do seu impacte climático, mas por muitas outras razões. Muitos dos próprios recursos, como já dissemos, são finitos e faz sentido tentar gastá-los mais devagar. E, ao mesmo tempo, contribuir para resolver a questão da acumulação de lixo! Mas o termo circular não é um termo preciso. Não é possível dar a volta completa e chegar ao mesmo ponto de partida. Há uma realidade que a física nos ensina: há sempre perdas no processo, chama-se irreversibilidade. É a segunda lei da termodinâmica... no limite nunca teremos um círculo (regresso ao mesmo ponto) mas mais algo como uma espiral. Talvez ficasse assim um conceito menos intuitivo, mais complicado e a imagem circular é o que se tem adoptado.

Uma abordagem mais completa ao tema da economia circular³² [51] passa pela consideração dos três r, reduzir, reutilizar, reciclar, por esta

ordem de importância. A ideia é a de que a primeira e principal actuação é a de reduzir consumos, não utilizar, se possível. Depois vem o conceito de não “deitar fora”, não descartar o que pode ser ainda utilizado e, por fim, a reciclagem propriamente dita. Um exemplo complexo é o dos plásticos, com impactes enormes sobre o ambiente, cadeia alimentar, etc., mesmo quando hoje se fala de poderem ser produzidos a partir de fontes bio (em vez de fontes fósseis) com algum grau de degradabilidade, a sua acumulação previsível e perniciosa, é de tal forma grande, que os três têm de ser determinantes na abordagem a seguir. Outro exemplo, muito importante, é o das componentes electrónicas da enorme e crescente profusão de equipamentos que nos rodeiam, a causarem múltiplos impactes, da extração dos metais que as integram, ao ambiente impactado pela sua presença descontrolada e à saúde pública, sobretudo dos países para onde alguma actividade de reciclagem é destinada, feita em condições de verdadeira exploração abusiva de mão de obra, em processos manuais, de baixa tecnologia.

Há outros recursos que, sendo renováveis, também devem ser conservados e reciclados, quando possível. Por exemplo, a água doce. Por razões do clima, já escasseia em muitos locais... noutros, ainda habituados a ter água em abundância ou suficiência, as alterações climáticas vão trazer uma situação de míngua crescente... será necessário saber lidar com isso e procurar poupar e reutilizar o mais possível. Por exemplo, a gestão da água na agricultura ou a construção de casas com a preocupação da reutilização da água: águas de banhos, podem ser reutilizadas nas descargas da sanita, o conceito das águas cinzentas... Mas o tema água não é o que se está a tratar neste contexto.

Em resumo: a reciclagem é importante, mas não pode ser vista como uma solução única. Tem que estar precedida de um forte antídoto à sociedade do consumismo desenfreado, “do usa e deita fora!”, em que nos habituámos a viver. Temos de pensar cada vez mais em novas formas de nos comportarmos, de reduzir consumos.

Devemos pensar [36]³³ em caminhar para um contexto de desenvolvimento que acabe por conduzir a uma tendência inversa à atual, “desglobalizando” a própria economia em termos materiais, vivendo mais, sobretudo, do que temos à nossa volta, reduzindo e mesmo eliminando o desperdício, deixando a globalização para outras realidades como a do conhecimento, da cultura, do virtual na transmissão de informação e das comunicações...

33 — Manuel Collares Pereira “Energia e Ambiente num Mundo com muita Gente” – Chapter of publication “Despertar para a Ciência, Novos Ciclos de Conferências”, Gulbenkian Foundation, GRADIVA, Lisbon, December 2007.

2.4. ENTRETANTO: A MUDANÇA DE COMPORTAMENTOS, O CAMINHO PARA O FUTURO

Afinal toda a energia que é utilizada, tem os cidadãos consumidores no fim da linha. Este consumo, i.e., os cidadãos, são, por esta razão, parte do problema. Pode e devem, desde já, fazer parte da solução, sem estar à espera que evolução tecnológica e a adopção das políticas energéticas referidas acima, resolvam, por si, todo o problema.

Algumas das possibilidades ao alcance imediato dos cidadãos são apresentadas de seguida. Muitas nem sequer exigem grandes investimentos. Correspondem a simples mudança de atitude e de hábitos nocivos.

a) Oportunidades de baixo custo:

- Deixar de cozinhar com o fogão gás. Custa o mesmo (ou até menos) cozinhar com placa eléctrica.
- Substituir o velho esquentador a gás por um cilindro eléctrico (ou por uma bomba de calor, ver adiante)
- Substituir os velhos eletrodomésticos por novos, no mínimo classe A
- Melhorar as janelas, passando a usar vidros duplos
- Isolar a cobertura da casa, isolando o forro do telhado, por exemplo
- Quando há um aquecimento central (ar condicionado), regular o termostato para um ou dois graus Celcius menos; não se notará grande diferença; e, também, deve evitar-se aquecer a casa toda, só as divisões onde se está habitualmente.
- Iluminar a casa com lâmpadas mais eficientes e não deixar tudo ligado, nas divisões da casa onde não se está e quando se sai de casa.
- Recorrer o mais possível a transportes públicos e andar a pé ou em veículos de duas rodas
- Reduzir o uso do veículo (gasolina ou diesel) ao que é mesmo necessário; conduzir mais devagar e evitar os arranques bruscos, por exemplo, e não deixar o motor ligado quando se pára momentaneamente. Aliás tudo isto são excelentes formas de encaixar, com vantagem, as permanentes subidas dos preços dos combustíveis...
- Ir para o estrangeiro em turismo? É melhor viajar antes dentro do país, vendo primeiro o que está perto e que ainda não se conhece
- Evitar os cruzeiros marítimos em cidades flutuantes que constituem um desastre energético e ambiental
- Recusar o consumo pelo consumo, por ex. fazer durar mais o guarda-roupa, não o renovando todos os anos, e/ou recorrendo a roupa em segunda mão e bom estado
- Procurar uma alimentação à base de produtos produzidos mais perto

de nós (sim, carne e peixe nacionais, por exemplo) e também de verdes e fruta de estação, em vez de se comer, todo o ano, as mesmas coisas, que terão de chegar vindas do outro lado do mundo... com produção desnecessária de emissões de gases de efeito de estufa.

– Ter em atenção a redução de todo o desperdício, a separação dos lixos, as medidas de poupança de água, etc.

b) Oportunidades a exigir uma maior mobilização de meios:

– Substituir a sua caldeira a gás, por uma bomba de calor que dará calor no Inverno e frio no Verão; o custo energético será muito mais baixo do que tem hoje e o conforto acrescido; e fornecerá água quente sanitária

– Investir na produção da energia eléctrica própria – autoconsumo – com painéis solares fotovoltaicos. Recorrer ao conceito de Comunidades Energéticas, cooperativas de produção e autoconsumo. Recorrer também a colectores solares térmicos para a produção de águas quentes sanitárias. Com investimento próprio e em ambos os casos, o tempo de recuperação do investimento é de poucos anos, pela energia que deixa de se ter de comprar. E os painéis/colectores solares duram mais de 20 anos. É muito, muito melhor, do que ter o dinheiro parado no banco ou em investimentos tradicionais

– Fazer, logo que possível, a transição para o veículo eléctrico. Em Portugal, 60% da electricidade já é de origem renovável (e o plano do Governo é o de chegar a 80% ainda em 2026).

– Se pensar em construir uma nova casa ou em remodelar substancialmente a actual, pense nas soluções solares passivas, associadas à boa orientação da mesma, à ventilação natural, aos ganhos solares (uteis de inverno, a evitar no verão) ...

– Na escolha dos materiais a utilizar, pensar que não são todos iguais, há materiais com um ciclo de vida muito mais sustentável do que outros. Pense, por exemplo, numa casa em madeira, em vez de recorrer à construção convencional!

Em resumo:

Estes são alguns dos passos importantes para o combate às alterações climáticas e que só dependem de cada cidadão. E não estão associados a menos conforto ou a severas limitações da qualidade de vida habitual de cada um. Pelo contrário: esta aumentará, pois haverá mais conforto e menos gastos. E uma consciência tranquila por se estar a fazer o que se deve fazer!

Esta nova atitude será também uma forma de dizer à juventude de hoje, que já começa a padecer do que se designa por “ansiedade climática”, que é ainda possível transitar para um Mundo Sustentável, mais justo e inclusivo e muito, muito melhor.

2.5. CONCLUSÃO

Os documentos de política energética a que se foram aludindo, traçam inúmeros caminhos para se alcançarem os objectivos da neutralidade carbónica em 2050 e 1,5°C apenas, no fim do século.

Este escrito foi produzido com a intenção de mostrar que já há tecnologia, hoje, que permite alcançá-los. E que muito mais desenvolvimento tecnológico está a acontecer para melhorar e ajudar a concretizar a capacidade de resposta.

Está então resolvido? Vamos conseguir?

Seria possível, mas não está a acontecer como seria necessário.

A transição energética que terá de acontecer (é um imperativo de sobrevivência para a Humanidade tal como a conhecemos) tem um sentido claro de urgência [52]³⁴. Contudo o seu acontecimento está também profundamente dependente dos cidadãos, consumidores, da sua cultura e do seu comportamento), nomeadamente também em relação à política e aos políticos que elege.

Portugal está num caminho correcto, traçado em documentos como o PNEC e RNC.

Ainda existem muitos obstáculos, legislação contraditória (experimente-se colocar um painel fotovoltaico num edifício com cobertura de telha...!? e se tiver algum carácter histórico ainda é mais difícil, mesmo quando não se vê o telhado de lado nenhum?!), decisões e hesitações incompreensíveis (quando acabamos com a visita de gigantes de cruzeiro a Lisboa, verdadeiros desastres ecológicos flutuantes?) e um controlo fraco ou nulo sobre o que se vai passando...

Por outro lado, no nosso país e a nível mundial, falta uma verdadeira capacidade para se contrariar os interesses instituídos, quer os que estão por detrás dos combustíveis fósseis e de outras formas de energia, quer os representantes do capitalismo selvagem da sociedade de consumo sem limites que tratam por todos os meios, travar a transição e até negar a sua necessidade.

Quando seremos capazes de encarar os tão propalados custos trilionários da transição energética, não como custos (propaganda!), mas como investimentos, com rentabilidade assegurada, geradores de uma nova economia, capaz de fazer aparecer um número enorme de novos agentes, aliás com consequências muito interessantes sobre a própria capacidade de democratização do sector da energia?

34 — Desenvolvimento Sustentável, Verdade e Consequências, Manuel Collares Pereira, coordenador e apresentador, Prefácio de Viriato Soromenho Marques, autores: Alfredo M. Pereira, Cristina Conceição, Elsa Lamy, Fernando Capela e Silva, João Manuel Bernardo, José M. Belbute, José Manuel Martins, Manuel Collares Pereira, Manuel Vilhena, Margarida Simões, Maria Ilhéu, Maria Raquel Lucas, Mariana Valente, Miguel Rocha de Sousa, Editora DOCUMENTA 2022, ISBN 978-989-8833-86-0

E quando seremos capazes de perceber que o caminho da transição energética terá consequências espantosas sobre a qualidade de vida colectiva, com melhor ar para respirar e mais conforto, benefícios que a abordagem tradicional não nos proporciona de todo ou só a alguns e a grande custo?

Mas, o que não está certamente nos planos dos documentos referidos e que contêm as melhores escolhas e intenções da política ambiental e energética em evolução, são os acontecimentos incontroláveis e de consequências imprevisíveis, como o da invasão da Ucrânia pela Rússia. Consequências tremendas sobre a economia, mas, também e directas, sobre as questões da energia e do ambiente.

Isto é, assim não há bons planos que resistam! A dependência que a Europa tem do gás, do petróleo e também do uranio enriquecido russos (um facto que tem passado ao lado do público!), têm levado a uma reacção menos firme e mais hesitante da União Europeia e a única consequência positiva, até agora, é a decisão da EU em apressar a transição para as Energias Renováveis. Outras consequências, como a de ressuscitar o nuclear onde já se tinha decidido acabar com ele (Alemanha), ou de reforçar o recurso ao carvão em vez de se iniciar já a sua regressão (Polónia), são retrocessos que agravam a situação dramática em que já nos encontramos.

A nossa política energética portuguesa mostrou-se eficaz no controlo dos custos de produção de electricidade e outros, com os cerca de 60% de peso das renováveis que já temos e uma escassa, ou mesmo nula, dependência do gás e petróleo russos (Eurostat).

Mas contrariar todo o “greenwashing” a que vamos assistindo e os esforços poderosos dos interesses instituídos, esforços financiados por muito dinheiro investido a suportá-los, é muito difícil. Exige muita coragem e firmeza política, que não está ainda bem presente.

As Nações Unidas e o seu Secretário-Geral, António Guterres, fazem o discurso certo todos os dias. Propõem medidas à escala global que seriam muito eficazes se fossem implementadas. Como, por exemplo, acabar de imediato com os subsídios enormes, directos e indirectos, de que beneficiam os combustíveis fósseis e acabar com a prospeção de petróleo e de gás, já que as reservas conhecidas e o petróleo já conhecido e produzido, permitem satisfazer as necessidades por mais anos do que aqueles que queremos. O fim dos subsídios e qualquer nova prospeção banida, ajudariam muito a concretizar os objectivos.

A Greta Thunberg e os jovens que a emulam, mesmo quando alguns, por vezes, não pareçam entender a fundo as implicações, as consequências, do que reivindicam, têm razão no que pretendem: um Mundo futuro, onde todos possam viver melhor e que não se alcançará, de todo, com o “business as usual”. E o Mundo do futuro é, será o deles!

3.

REFERÊNCIAS

- [1] IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis
- [2] We Tasted The World's First Cultivated Steak, No Cows Required, TIME, Aryn Baker/ Rehovot Israel, November, 2022
- [3] In 2022, nuclear power's future looks grimmer than ever, Renew Economy, Jim Green, 11 January, 2022 77
- [4] by Marcelo Azevedo, Magdalena Baczyńska, Ken Hoffman, and Aleksandra Krauze, Metals & Mining Practice Lithium mining: How new production technologies could fuel the global EV revolution April 2022 © Xenia4ka/Getty Images Lithium is the driving force behind electric vehicles, but will supply keep pace with demand? New technologies and sources of supply can fill the gap. (McKinsey & Company)
- [5] "Aluminium, sulphur and salt batteries. Cheaper than lithium-ion, for homes and EV charging stations" September 7, 2022 by David Chandler
- [6] Projecto PVCROPS – Instalação e ensaio de uma bateria de fluxo Vanadio Redox, Building Integrated PV, Projecto financiado pela U Europeia com a participação da Universidade de Évora,
- [7] M. Collares-Pereira, D. Canavaro, L.L. Guerreiro, *Linear Fresnel reflector (LFR) plants using superheated steam, molten salts, and other heat transfer fluids*, Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology, ISBN: 978-0-08-100516-3, Pages 339–352, 2017, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100516-3.00015-0>
- [8] IEA Wind Energy, September 2022
- [9] IEA Solar PV, 2021
- [10] IEA-Net Zero Scenario, 2022
- [11] Decreto lei 15/2022
- [12] D. Canavaro, J. Chaves, M. Collares-Pereira *Improved design for linear Fresnel reflector systems*, Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology, ISBN: 978-0-08-100516-3, Pages 45–55, 2017, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100516-3.00003-4>
- [13] NREL PV FAQs, 2004
- [14] NREL EricK Lantz
- [15] U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, 2022- Rare Earths
- [16] Manuel Collares Pereira "Energias Renováveis: a opção inadiável" Editor SPES (1998) ISBN 9729585431
- [17] Energy, Renewable Energy Directive 2108/2001
- [18] Report, The use of woody biomass for energy production in the EU, Maio 2020
- [19] European Environmental Agency, 2017 Transporte: emissões de CO2 na EU
- [20] M. Collares Pereira, J.P. Almeida, J. Correia de Oliveira "Description and testing of a novel solar box type cooker incorporating CPC type optics" ISES Solar World Congress, Goteborg, June, 2003
- [21] IAEA – International Atomic Energy Agency, PRIS 2019
- [22] IEA World Energy Outlook, 2022)
- [23] M. Collares Pereira "Jeremias e o Desenvolvimento Sustentável", Livros Horizonte 2020, ISBN 978 972 241978 9
- [24] Green Hydrogen, a guide to policy making (IRENA-2020)
- [25] Herib Banco, Emanuele Taibi, Green Hydrogen: reducing the cost needs scaling up of electrolyser plants March 15, 2021(IRENA report)
- [26] Harry Morgan, Why market dynamics will reduce the average price of green hydrogen to \$1.50/kg by 2030, Energy Transition, September 2022
- [27] H.K. Abdel-Aal* K.M. Zohdy and M. Abdel Kareem, Hydrogen Production Using Sea Water Electrolysis The Open Fuel Cells Journal, 2010, 3, 1-7 11875-9327/10 2010 Bentham Open Open Access, Higher Technological Institute, Tenth of Ramadan City, Egypt
- [28] Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office (DoE): Hydrogen Storage
- [29] Potential Roles of Ammonia in a Hydrogen Economy A Study of Issues Related to the Use Ammonia for On-Board Vehicular Hydrogen Storage, Report, U.S. Department of Energy
- [30] Remo Schächli, David Rutz, Fabian Dähler, Alexander Muroyama, Philipp Haueter, Johan Lilliestam, Anthony Patt, Philipp Furler and Aldo Steinfeld, Drop-in Fuels from Sunlight and Air, Nature, vol. 601: no. 7891, pp. 63-68, London: Nature, 2021.
- [31] Marta Lovisol Keith Whiriskey,

- “Cannibalising the Energiewende? 27 Shades of Green Hydrogen;” Bellona Europa 2022 <https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2021/06/Impact-Assessment-of-REDII-Delegated-Act-on-Electrolytic-Hydrogen-CO2-Intensity.pdf>
- [32] Global Status Report, 2018, EIA
- [33] Elias Hurmekoski E. “How can wood construction reduce environmental degradation?”, 2017, ISBN 978-952-5980-33-2 (printed)
- [34] Wikipedia – Environmental impact of concrete
- [35] Jorge M. Branco, Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios ISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães – Seminário Casas de Madeira
- [36] Manuel Collares Pereira “ Energia e Ambiente num Mundo com muita Gente” – Chapter of publication “Despertar para a Ciência, Novos Ciclos de Conferências”, Gulbenkian Foundation, GRADIVA, Lisbon, December 2007.
- [37] Filipe Duarte Santos “O Sector dos Transportes na Descarbonização da Economia de Portugal” Artigo de Opinião, Novembro de 2019
- [38] Woodhouse, Michael. Brittany Smith, Ashwin Ramdas, and Robert Margolis. 2019. Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Roadmap. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72134.pdf>
- [39] Wikipedia Hynkley Point; Wikipedia .Flamanville (FR)
- [40] Manuel Collares Pereira , Capítulo do livro “Almaraz e outras coisas más” Coordenação de António Eloy ISBN978 989 98835-5-0 Cooperativa Editorial Caldense , Dezembro 2017
- [41] Fthenakis-2007
- [42] Linda Perez Gunter, No use in the climate crisis, Beyond Nuclear International, Nov, 27, 2022
- [43] Small Modular Reactors cost overruns: the same problems haunt new nuclear in Utah, David Schlissel, Nov. 25, 2022 (IEEFA)
- [44] Stanford-led research finds smaller modular reactors will exacerbate challenges of highly radioactive nuclear waste, Stanford News, Mark Shwartz , May 30, 2022
- [45] David Kramer “National Ignition Facility surpasses long-awaited fusion milestone” Physics Today, December 2022
- [46] Isabelle Bouboulon <isabelle.bouboulon@gmail.com> Soleil trompeur, ITER ou le fantasme de l’énergie illimitée
- [47] Celia Izoard , Enquête en 3 volets – (Reporterre) 18 juin 2021
- [48] David Chandler , New superconducting magnet breaks magnetic field strength records, paving the way for practical, commercial, carbon-free power. MIT-News, MIT-designed project achieves major advance toward fusion energy | MIT News Office, September , 2021
- [49a] <https://www.scientificamerican.com/article/fusions-false-dawn/> (2010)
- [49b] Eduardo J.C. Martinho, Jaime M. da Costa Oliveira Reactores nucleares de Cisão o que são e como funcionam, LNETI, Instituto da Energia, 1980
- [50] elements.visualcapitalist.com, Nicholas Lapan, Rare Earth Elements: Where in the World Are They? 2021
- [51] The circular economy, Scientific American, January, 2023
- [52] Desenvolvimento Sustentável, Verdade e Consequências, Manuel Collares Pereira, coordenador e apresentador, Prefacio de Viriato Soromenho Marques, autores: Alfredo M. Pereira, Cristina Conceição, Elsa Lamy, Fernando Capela e Silva, João Manuel Bernardo, José M. Belbute, José Manuel Martins, Manuel Collares Pereira, Manuel Vilhena, Margarida Simões, Maria Ilheú, Maria Raquel Lucas, Mariana Valente, Miguel Rocha de Sousa, Editora DOCUMENTA 2022, ISBN 978-989-8833-86-0

ANEXO

1

GASES DE EFEITO DE ESTUFA

Os três principais gases de efeito de estufa (GEE) com emissão antropogénica, são o CO₂, CH₄ e N₂O, que têm vindo a aumentar [37] – Filipe Duarte Santos “O Sector dos Transportes na Descarbonização da Economia de Portugal” Artigo de Opinião, novembro de 2019] na atmosfera de forma significativa, respectivamente 46%, 254% e 21% em relação aos valores pré-industriais (sec. XVIII).

Seguindo ainda a apresentação referenciada [37], as principais actividades humanas que contribuem para a sua acumulação na atmosfera podem ser classificadas nas grandes áreas da energia, transporte, agricultura, processos industriais e resíduos. A Fig 1 mostra o peso relativo [19] (European Environmental Agency 2017,) das diversas fontes, na emissão dos gases efeito de estufa.

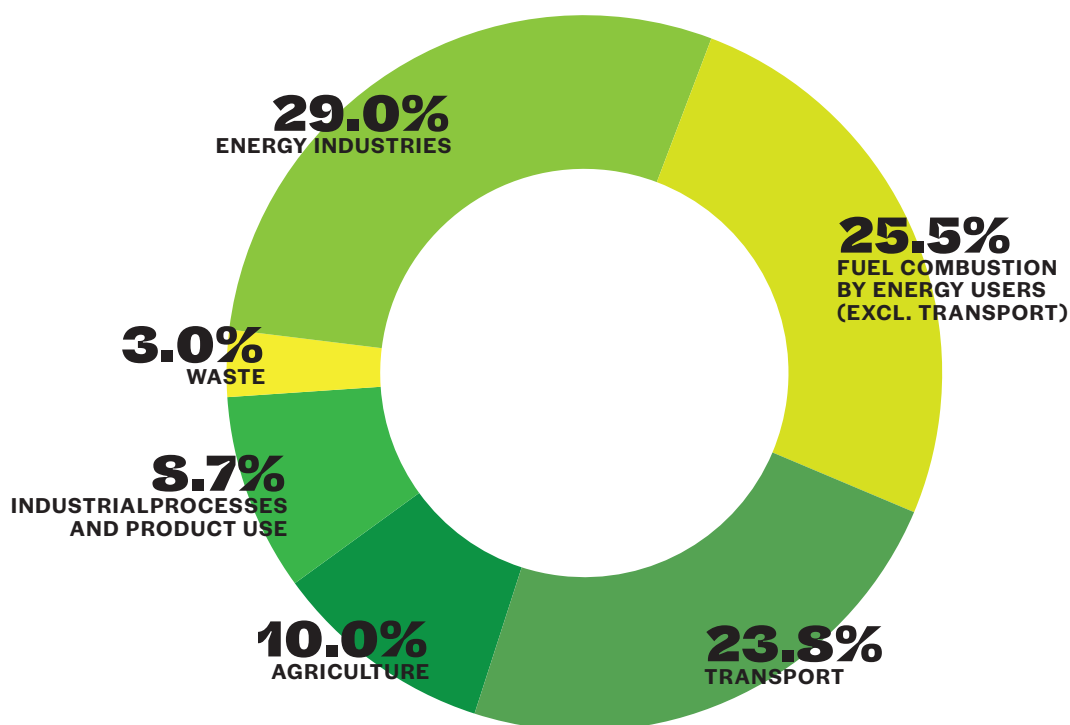


FIG. 1
SHARE OF EU GREENHOUSE GAS EMISSIONS (GEE) BY SOURCE

Energy industries: Emissions from fuel combustion and to a certain extent fugitive emissions from energy industries, for example in public electricity, heat production and petroleum refining.

Fuel combustion by users (excl. transport): Emissions from fuel combustion by manufacturing industries and construction and small scale fuel combustion, for example, space heating and hot water production for households, commercial buildings, agriculture and forestry.

Transport: Emissions from fuel combustion of domestic and international aviation, road transport, railways and domestic navigation.

Agriculture: This includes among others emissions from livestock-enteric fermentation - greenhouse gases that are produced when animals digest their food, emissions from manure management and emissions from agricultural soils.

Industrial processes: Emissions occurring from chemical reactions during the production of e.g.: cement, glass etc.

Waste: Emissions from landfills, wastewater treatment and composting among others.

Data including international aviation, excluding indirect CO₂ emissions and land use, land use change and forestry.

Source: European Environment Agency

Em Portugal e segundo os dados do Portal do Estado do Ambiente (REA) o sector dos transportes contribuiu em 2017 com 24,3% do total de 78 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e). Esta unidade traduz a quantidade de CO₂ que produziria o mesmo efeito que produz a mistura de GEE que realmente existe. Define-se o que se chama GWP – Global Warming Potencial (um índice de “forçamento” radiativo). Tomando o CO₂ como referência (1 unidade de GWP) o GWP do metano (CH₄) é 25 e o do Óxido Nitroso (N₂O) é de 298.

Em termos físicos a presença de CO₂ na atmosfera mede-se em ppm (partes por milhão) e tem hoje um valor de 415ppm. A de CH₄ mede-se em ppb (partes por bilião) com um valor em 2017 da ordem de 1800ppb. A de N₂O mede-se em ppb com um valor da ordem de 270ppb, em 2017.

Em 2017, na EU, as emissões totais rondaram as 4000Mton de CO₂e. das quais ~3250Mton de CO₂e foram de CO₂, ~400 Mton de CO₂e foram de CH₄ e ~200 MtonCO₂e foram de N₂O.

ANEXO

2

COMPARAÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE POR VIA NUCLEAR E POR VIA DE FONTES RENOVÁVEIS, EM PARTICULAR O FOTOVOLTAICO (PV)

Centrais fotovoltaicas já foram leiloadas em Portugal abaixo de 1,4 cent de euro/kWh (14 euro/MWh), um valor muito baixo, provavelmente não reflectindo apenas o próprio custo baixo do fotovoltaico hoje, mas também outras questões como a valorização da atribuição de um ponto de acesso à rede.

Contudo, é seguro dizer que, mesmo incluindo muitos outros sítios no mundo que, estamos definitivamente a valores entre 20 e 30 euro/MWh para o PV, estabelecendo um custo de produção de energia fixo, pelo menos por 25 anos [38] ³⁵

Quanto ao custo de investimento propriamente dito e para a produção centralizada, pode ser tão baixo hoje quanto entre 0,3 e 0,4 Meuro/MWp, em grandes centrais.

Na produção descentralizada praticam-se custos hoje entre 0,7 e 1,0 euro/Wp em sistemas de dimensão intermédia e talvez mais 20% a 30% em sistemas de pequena dimensão (instalação individual no sector doméstico).

Estes valores são hoje os mais baixos para novos investimentos em comparação com os de qualquer outra forma de energia.

A Energia Nuclear apresenta valores completamente diferentes, que a situam num patamar de custos que é o mais alto de todos. Nunca foi barata (“too cheap to meter”, como se dizia nos anos 60) e só se desenvolveu à custa de grandes subsídios, como é habitual para uma tecnologia emergente (como aconteceu por exemplo nos EUA e em França). Contudo esta ideia contribuiu de forma significativa para a criação do mito do baixo custo da Energia Nuclear.

A indústria nuclear apresenta o investimento numa nova central do tipo EPR entre 3 e 4 Meuro/MWp (mesmo assim, e à partida, 10 vezes mais que o fotovoltaico); contudo, na prática os valores finais de reactores em construção são muito mais elevados: entre 5 e 6 vezes superiores, i.e. situando-se acima de 120 a 150 Meuro/MWp (i.e., mais de 50 vezes os do fotovoltaico). (ver Anexo 3).

35 — Woodhouse, Michael. Brittany Smith, Ashwin Ramdas, and Robert Margolis. 2019. Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Roadmap. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72134.pdf>

No quadro abaixo resumimos estes valores.

	OFERTA INICIAL (INVESTIMENTO) (MEURO/MW)	VALOR ACTUAL (INVESTIMENTO) (MEURO/MW)	TEMPO ENTRE DECISÃO E FORNECIMENTO DE ENERGIA (ANOS)	CUSTO DE PRODUÇÃO DA ENERGIA EURO/MWH
Nuclear				
Hynkley Point (UK)	2.3	> 13	10-15	127
Flammanville (FR)	2.0	> 18	10-15	-----
Vogtle (US)				-----
PV				
Centralizado	0.3-0.4	0.3-0.4	1-2	14-30
Descentralizado	0.7-1.0	0.7-1.0	<1	

TABELA 1
QUADRO COMPARATIVO DE VALORES
DE INVESTIMENTO (NUCLEAR E FOTOVOLTAICO):
REACTORES EM CONSTRUÇÃO

É o caso dos EPR em Flammanville (França), ou do de Hicklely Point (UK). Os valores para os reactores em Vogtle (USA) são igualmente elevados (Jim Green , In 2022, nuclear power's future looks grimmer than ever, Renew Economy jan. 2022, 77) [3]; Wikipedia Hynkley Point; Wikipedia. Flamanville (FR) [39]

Estes valores não incluem, não refletem, uma serie de outros custos, como os de desmantelamento da central no fim da sua vida, do armazenamento de todos os resíduos radioativos, de toda a fileira da mineração ao processamento do combustível, dos seguros contra acidentes (que aliás só cobrem uma parte muito pequena das consequências de grandes acidentes), etc. Quem pagará estes custos? Certamente os consumidores, possivelmente dentro e fora da tarifa elétrica, por decisão política, claro.

Isto é, o custo da energia nuclear é esmagadoramente superior ao das energias renováveis. É aliás por isso que tem havido muito pouco investimento recente no sector... e que muitos países decidiram abandonar o nuclear.

Quanto à energia produzida, os contractos aparecem com valores mínimos garantidos para a venda da energia à rede (ver, por exemplo, os ~127 euro/MWh exigidos em Hyckley Point, UK), garantidos por muitos anos, para poderem ter um mínimo de rentabilidade, não contando a quantidade de subsídios e outros apoios de que beneficiam.

É caso para se dizer que a Energia Nuclear é mesmo “too expensive to matter”

ANEXO

3

A ENERGIA NUCLEAR: UMA OPÇÃO ULTRAPASSADA!?

Na sequência abordam-se alguns aspectos mais relevantes da Energia Nuclear, fissão (ou cisão) [49] e fusão, para efeitos da análise feita neste documento.

3.1. FISSÃO (CISÃO) NUCLEAR

A ideia da energia nuclear (fissão nuclear) estimula a nossa imaginação e expectativas. Mas, à medida que se estuda o tema, surgem aspectos preocupantes em torno das questões do custo, da segurança das centrais, da gestão dos resíduos nucleares e outros, a temperar o entusiasmo...

O princípio: um átomo de urânio (U_{235}), i.e., com um núcleo em que o número de prótons e neutrões é 235, absorve mais um neutrão de baixa energia (dito lento) que vem contra ele, e passa a ser U_{236} ... um outro isótopo de urânio. Este novo isótopo não é estável e vai cindir-se ou fissionar-se, i.e., partir-se em dois outros átomos que constituem um par, que se batiza genericamente de par (X, Y) (já que podem existir várias pares possíveis) e emitir mais neutrões. Se se colocar o isótopo inicial no prato de uma balança e, no outro, o par (X, Y) que resultou da cisão (e outros neutrões que também se libertam), verificar-se-á que a massa inicial do isótopo de Urânio é maior que a soma de todas as outras massas que resultam da cisão! A diferença de massa entre os dois pratos, pequeníssima que é, aparece agora transformada em energia (é a velha fórmula de Einstein da transformação de massa em energia) ³⁶. Essa é a energia nuclear de fissão ou cisão.

Para produzir eletricidade recorre-se ao princípio de funcionamento das centrais termoelétricas. O calor associado permite produzir vapor e este passa na turbina que faz girar o gerador.

Algumas dificuldades surgem de imediato: os neutrões que se produzem, se não forem devidamente controlados, vão encontrar outros átomos de U_{235} e produzir mais cisão e mais energia e novos neutrões, numa reacção dita em cadeia, que pode levar, em caso de descontrolo total, a uma enorme explosão. É assim que funcionam as bombas atómicas. Felizmente que existem formas de controlar o processo para que a produção de energia seja a que necessitamos, apenas na central termoelétrica.

É importante que o processo se mantenha controlado para não ser perigoso e há várias formas de o fazer.

A tecnologia foi-se desenvolvendo ao longo dos últimos 70 anos, tendo-se iniciado de forma altamente subsidiada, com a promessa de que seria uma forma de energia barata e inesgotável (“too cheap to meter”) o que nunca aconteceu. Ora, verifica-se hoje, que: (1) a energia nuclear [40]³⁷ que agora é comercial (i.e. a que se propõe no mercado) não é “inesgotável”, está baseada no isótopo de urânio (U_{235})³⁸ que é muito pouco abundante na natureza (Atlas de l’Uranium, Janeiro 2022 e IEA- World Energy Outlook, 2006), o que a torna uma solução insustentável, pois depende de um recurso com escassas dezenas de anos de duração, e ainda menos, se fosse alargada, como se propõe, a sua utilização, e (2) por outro lado, fazer uma nova central, a valores de hoje, é a forma mais cara de produzir electricidade³⁹ (ver Anexo2) sem contar com o facto que não haver nenhuma solução comercial para a disposição dos resíduos radioactivos em fim de vida da central, nem para o desmantelamento destas, algo que se estima poder custar tanto quanto construí-las de raiz...

A realidade deste “novo” custo, está a agora a chegar aos contribuintes de países como os do Reino Unido ou da Espanha. A indústria nuclear sempre afirmou que teria dinheiro para cobri-lo, mas, agora, verifica-se que isso não é verdade e será o contribuinte a ter de pagar. Por outras palavras, a Energia Nuclear nunca foi intrinsecamente barata⁴⁰. Toda a que se produz nas centrais a funcionar hoje, de início foi subsidiada e, no fim da sua vida, terá de o ser fortemente também. Sem falar ainda do perigo e do custo que está associado aos grandes acidentes...

Fukushima, Three Miles Island, Chernobyl, e as consequências dos seus terríveis acidentes, geram custos elevadíssimos, que não fazem parte dos custos da operação normal das centrais, nem estão cobertos pelos seguros que possuem! Estão também na base de uma reacção forte contra a energia nuclear, por todo o mundo.

É legítimo perguntar porque se continua então a considerar o nuclear como uma verdadeira alternativa. Algumas razões são: (i) porque

37 — Ver por exemplo, Manuel Collares Pereira, Capítulo do livro “Almaraz e outras coisas más” Coordenação de António Eloy ISBN978 989 98835-5-0 Cooperativa Editorial Caldense, dezembro 2017

38 — U_{235} com uma abundância média da ordem de 0,5% em relação à do isótopo U_{238} , o mais abundante

39 — Ver os valores do último contrato da AREVA (francesa) para a central que contratou para ser construída no Reino Unido

40 — A energia eléctrica produzida nas centrais nucleares em funcionamento pode realmente ser vendida hoje a muito baixo custo, pois elas foram muito subsidiadas, aquando da sua construção; o custo do subsídio acabou por ser pago pelos contribuintes, a partir de outro bolso, isto é, o consumidor inglês ou francês, não sentiu diretamente este custo extra, no custo na tarifa da electricidade lá em casa

foram investidas quantias enormes no seu desenvolvimento e se criaram grandes grupos de interesses ao seu redor (ii) porque esses interesses vão ter dificuldade em dar-se por vencidos por alternativas muito mais baratas, limpas e benignas, que, entretanto, apareceram (iii) porque, e sobretudo, esta indústria está ligada a outra, mortal, a das armas nucleares e os governos que as fabricam e detêm, não abdicarão delas facilmente (um eufemismo).

Mesmo em Portugal, há ainda quem insista em propor esta tecnologia para o nosso país...A opinião do autor, alicerçada em tudo o que ficou explicado acima, é a de que, embora se esteja a lidar com uma solução de grande elegância e beleza – a da Física Nuclear – esta forma de energia não terá viabilidade sem forte protecção e/ou corrupção, nas economias de mercado de países democráticos. E, apesar do que se poderá ouvir dizer aos proponentes do nuclear, não parece fazer falta para o futuro que teremos pela frente, com todas as tecnologias renováveis que foram referidas, com os seus custos muito mais baixos, a riscos nulos e a sua enorme e rápida capacidade de resposta (deployment) para a transição energética. E também porque as redes eléctricas do futuro, com as renováveis, serão de uma natureza muito distinta, com grande flexibilidade entre várias fontes diferentes e estilos de produção diferentes (pequena escala e grande escala, centralizado e descentralizado,...) e o Nuclear tende a monopolizar, introduzindo uma rigidez muito grande, centralizando, com a sua grande escala e condições de operação em contínuo, uma forma de funcionar que não tem nada que ver com o funcionamento flexível e de resposta rápida que se prevê para a produção e redes do futuro. Assim, a previsão que faz o autor é a de que o Nuclear irá ficando progressivamente no passado (mesmo quando a IEA teima em a conservar, no futuro, com a percentagem que hoje tem de ~10%). O mesmo se passará com os combustíveis fósseis, cujo destino será o de ficarem, também, e cada vez mais, como coisa do passado! Quanto ao nuclear, alguns países como a Alemanha, já deram sinais claros neste sentido, decretando o fim de funcionamento de todas as suas centrais nucleares, com as últimas a encerrar em 2030.

Entretanto, os proponentes do nuclear na EU, têm usado de todos os meios ao seu alcance para conseguirem fazer aprovar a classificação da energia nuclear, dentro do conjunto das tecnologias que são ecologicamente sustentáveis, invocando que causam menor produção (desprezável?!) de gases de efeito de estufa.

Contudo, há também uma produção de gases de efeito de estufa, já que há todas as actividades relacionadas com as centrais nucleares, desde a extracção de urânio na mina, ao processamento do minério, ao que será a construção e desmantelamento das centrais, à construção dos repositórios de resíduos quando existirem e ao processamento e transporte de resíduos, tem um consumo de combustíveis associado, grande, logo com produção de

CO₂... Apesar de tudo, reconhece-se que isso é menos do que emitiria uma central a Gás Natural da mesma potência⁴¹...

Mas a verdadeira razão pela qual o Nuclear não é ecologicamente sustentável, tem dois outros grandes motivos: (i) tem um impacto muito forte sobre o ambiente, da mineração ao armazenamento de resíduos por conta da radioactividade que produz e liberta e porque os resíduos radioativos continuarão a sê-lo por milhares de anos e (ii) como já se referiu, as reservas de uranio U₂₃₅ são bastante limitadas.

Entretanto importa referir que se financiam e estudam hoje alternativas nucleares ao nuclear convencional.

É possível considerar alternativas à fissão comercial com base no U₂₃₅, através de outros combustíveis nucleares (o U₂₃₈, o Tório- Th₂₃₂)⁴², muito diferentes das tecnologias comerciais atuais (fast breeders ou reatores regeneradores). Estas alternativas, com recurso a matéria-prima muito mais abundante, seriam potencialmente mais sustentáveis, pois poderiam estar disponíveis por um prazo muito mais longo. Há, também, outros conceitos em exploração: reactores mais pequenos (SMR) e presumivelmente mais seguros (com segurança dita passiva) e reatores capazes de utilizar os resíduos de outros reactores, como forma de os “reciclar”, logo de contribuir para a resolução do problema dos resíduos.

Os chamados pequenos reatores SMR – Small Modular Reactors – introduziriam o conceito da pré-fabricação (um aspecto positivo), potencialmente contribuindo para uma redução de custo, por maior garantia de qualidade consequência do fabrico em ambiente industrial e por possibilidade de redução dos tempos de produção de um reactor, em contraste com o das centrais convencionais que levam mais de uma dezena de anos a construir. Não existem reactores destes em demonstração, pelo que ainda há muito mais perguntas do que respostas, em relação à realidade da tecnologia.

Por outro lado, o recurso a esses novos combustíveis nucleares contém uma alteração profunda da tecnologia, já que agora se tem de usar neutrões rápidos (muito mais energéticos) e que não podem ser moderados da forma simples, nem a energia directamente extraída com recurso à água, como se pode fazer nos reactores convencionais. A tecnologia dos reactores ditos regeneradores ou reprodutores exige, por exemplo, metais líquidos (sódio) ou sais fundidos, para a realização destas funções.

⁴¹ — Emissões (CO₂) de uma central a gás natural 185g/kWhe; os estudos para o nuclear (todo o ciclo de vida) resultam em valores entre 16 e 55 g/kWhe (CO₂ equivalente) para os Estados Unidos (Fthenakis-2007)

⁴² — Os reactores ditos regeneradores (breeders, em inglês);

Assim, o interesse actual destas soluções está prejudicado, à partida, por vários motivos: (i) até serem comerciais, se alguma vez o forem, estas novas soluções de reactores regeneradores, necessitarão de 20 ou mais anos de desenvolvimento, (ii) não se pode esperar tanto tempo, para se ter uma solução em grande escala [42]⁴³, e (iii) estas soluções não se vislumbram que venham a ter um custo muito diferente (pelo contrário!) do custo da fissão comercial actual [43]^{44 45}, continuando a ser dificilmente competitivo com as energias renováveis e limpas de que falámos⁴⁶. E, em qualquer caso, a questão dos custos de desmantelamento e armazenamento dos resíduos, em fim de vida das centrais, será a mesma para estas novas soluções!!! [44]⁴⁷ Tudo aponta para que estas ideias, se alguma vez forem bem-sucedidas (um grande “se”!), são um pouco como pensar em resolver o problema de todos os possíveis transportes individuais, recorrendo só a carros de luxo! O que seria apenas uma solução de muito ricos, para os muito ricos.

Em conclusão: a Energia Nuclear de fissão, há uns anos atrás, parecia ser uma necessidade, algo inevitável e, de repente, não resolveu os seus problemas de forma satisfatória, e aparece ultrapassada pela evolução profunda e alternativa das Renováveis. Aliás, estas últimas, muito mais adaptadas a resolver o problema da energia para todos, em todo o Mundo, como já se referiu.

3.2. FUSÃO NUCLEAR

A elegância deste conceito talvez não tenha rival em toda a área da energia. Trata-se de reproduzir o que se passa no Sol, fundindo dois núcleos de hidrogénio e obtendo um núcleo de hélio, com uma diferença de massa

43 — No use in the climate crisis, Linda Perez Gunter, Beyond Nuclear International, Nov, 27, 2022

44 — Small Modular Reactors cost overruns: the same problems haunt new nuclear in Utah, David Schlissel, Nov. 25, 2022 (IEEFA)

45 — Os reactores actuais convencionais situam-se entre 900MW e 1600MW; têm vindo a aumentar de tamanho com a ideia de quanto maiores, menos peso teriam os seus custos fixos; os SMR aparecem propostos em torno de potencias inferiores a 300MW e contradizem essa evolução nesse aspecto dos custos

46 — Provavelmente também investidores famosos como o Sr. Bill Gates não esperavam, quando começaram a investir, que o custo das Renováveis baixasse tanto e tão depressa.

47 — Standford-led research finds smaller modular reactors will exacerbate challenges of highly radioactive nuclear waste, Stanford News, Mark Shwartz, May 30, 2022

que corresponde a energia, transformável, por exemplo em electricidade. Tudo a partir do átomo mais abundante, o de hidrogénio.

Há dezenas de anos que se investiga este conceito. A questão do confinamento dos núcleos de hidrogénio é crucial e as duas grandes vias, a mecânica (lasers bombardeando por todos os lados, os núcleos a fundir) e a magnética (confinamento conseguido por poderosos campos magnéticos) têm conhecido evoluções importantes.

O recente resultado obtido no LLNL – Lawrence Livermore National Laboratory (USA) (Ignition Fusion) [45]⁴⁸ foi noticiado, por todo o mundo, como um resultado que iria, finalmente, trazer-nos energia elétrica ilimitada, limpa e barata.

O resultado foi muito interessante do ponto de vista da Física, mas sem qualquer impacte visível na capacidade de produção da dita energia limpa e barata.

É verdade que se conseguiu, finalmente, um processo de fusão em que a energia fornecida pelos lasers responsáveis pelo confinamento do plasma de átomos de isótopos de hidrogénio e sujeitos à sua fusão em átomos de hélio com libertação de energia, se verificou ter um balanço positivo, isto é, houve mais energia no output do que no input. Os números referidos foram de 2MJ no input para 3 MJ no output, um ganho de um factor 1,5. Extraordinário, sim! Até agora esta relação tem sido inferior a 1. Mas esta não é a realidade toda. Ela omite a energia que foi necessária para fazer funcionar os lasers: pelo menos 300MJ. Isto é, o balanço total continua a ser muito inferior a 1, neste caso 0,01!!! E isto para um instante só, sem haver ainda preocupação com assegurar a continuidade de produção de energia. Em abono da verdade este não era o objectivo da experiência (o objectivos estava centrado sobre as questões de manutenção de armamento nuclear) e não foi reportada pelos cientistas de LLNL exatamente nestes termos.

A tecnologia mais desenvolvida na Europa culmina hoje no ITER, um reactor de demonstração de cerca de 500MW (Portugal participa com o IPFN – IST nesta investigação), pela via do confinamento magnético, com o conceito de reator do tipo Tokamak. Um reactor de demonstração comercial nunca acontecerá antes de 2050.

O ITER pretende demonstrar que o plasma confinado e confinante se auto alimenta (o objectivo é o da produção de energia eléctrica comercial que deverá ser em contínuo!). Está pensado para uma primeira produção de energia positiva, com um factor de amplificação de 10, 50MW de input para 500MW de resultado. Contudo este é o objectivo e não tem em conta, mais uma vez, toda a potencia necessária para os equipamentos das funções

48 — David Kramer “National Ignition Facility surpasses long-awaited fusion milestone” Physics Today, December 2022

auxiliares [46]⁴⁹. Isto é, o ITER estará ainda a muitos anos do resultado de produzir significativamente mais do que consome energeticamente, prevendo-se que necessite uma potencia total de pelo menos entre 300 e 500MW, para desejavelmente produzir 500MW, quando iniciar o seu funcionamento em 2035 [47]⁵⁰.

Em teoria, o ponto de “breakeven” acontece acima de um factor 3, já que produzir electricidade por via térmica tem um rendimento baixo, tipicamente da ordem de 0.3 a 0.4 (rendimento termodinâmico de conversão). Mas esse “breakeven” não chega, necessitamos pelo menos do tal factor 10, para poder dizer que temos uma energia limpa, já que a electricidade que estará na base do processo, se tiver uma origem fóssil, tem de estar presente em quantidades muito diminutas.

Entretanto, chegam noticias de outras abordagens à configuração e à produção dos campos magnéticos necessários, com o recurso a supercondutores e a uma eventual simplificação e redução de custos.[48]⁵¹

Em qualquer caso, as dificuldades do processo, ainda a nível de conceito e, depois, as dezenas de anos necessárias para haver um produto comercial (a engenharia dos seus múltiplos aspectos é realmente muito complexa, ver por exemplo [49]⁵²), adiam a eventual solução da Fusão Nuclear comercial muito para lá de 2060.

A enfase está na palavra “eventual”, já que está ainda por determinar a que custos se conseguirá fazer tudo isto. Será suficientemente baixo? Mais provavelmente, e mais uma vez, será uma solução de muito ricos, para muito ricos...

49 — Isabelle Bouboulon <isabelle.bourboulon@gmail.com>

Soleil trompeur, ITER ou le fantasme de l'énergie illimitée

50 — Reporterre, Enquête en 3 volets – Celia Izoard (Reporterre) 18 juin 2021

51 — MIT-News, MIT-designed project achieves major advance toward fusion energy

New superconducting magnet breaks magnetic field strength records, paving the way for practical, commercial, carbon-free power.

David Chandler | MIT News Office, September 2021

52 — <https://www.scientificamerican.com/article/fusions-false-dawn/> (2010)

Manuel Collares Pereira

ACADEMIC QUALIFICATIONS

PhD em Física – Universidade de Chicago

M.S. em Física – Universidade de Chicago

Engenheiro Electrotécnico - Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL (highlights)

1988-1998- 2 vezes Presidente do CCE- Centro para a Conservação da Energia (actual ADENE, Agencia Nacional de Energia)

1996-2010 Professor Catedrático Convidado no Departamento de Física do IST , Universidade Técnica de Lisboa

2012 – 2020, Fundador e Presidente do Instituto Português de Energia Solar (IPES)

2010- 2019: Investigador Coordenador , Universidade de Évora ; Fundador e Coordenador da Cátedra de Energias Renováveis; Director do IIFA- Instituto de Investigação e Formação Avançada

1998-2011: Fundador e CSO - AO SOL Energias Renováveis (fabricante de colectores solares térmicos)

1982 - 2005: Director de Investigação em Energia Solar, Investigador Principal e Investigador Coordenador – Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (LNETI-INETI-LNEG)

Membro da Academia das Ciencias de Lisboa (ACL) ; membro da Academia de Engenharia (Lisboa) e da Academia Mexicana de Energia (C. do México)

Autor de três livros sobre Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável, 14 patentes e mais de 250 artigos científicos sobre Energia Solar e temas relacionados

IDIOMAS

Portuguesa: Nativo

Inglesa: Fluente

Francesa: Fluente

Espanhol: Fluente

Alemão e Italiano: leitura

CONTACTS

E-mail: mcp@vanguard eagle.com

Website: www.vanguard eagle.com



LISBOA, FEVEREIRO DE 2023