

## A ECONOMIA BASEADA NO HIDROGÉNIO: O CAMINHO PARA UM NOVO PARADIGMA ENERGÉTICO?

Susana Costa Escária<sup>1</sup>

*"To talk about the hydrogen economy is to talk about a world that is fundamentally different from the one we know now"*

in National Hydrogen Energy Roadmap 2002, United States Department of Energy

### **Resumo**

*Este artigo pretende explorar a questão do hidrogénio e de uma economia baseada no hidrogénio. Apontam-se os cenários alternativos e os caminhos (roadmaps tecnológicos) que alguns dos países mais desenvolvidos têm vindo a adoptar ou enunciam como mais prováveis, para se alterar e atingir um novo paradigma energético.*

*Serão dados a conhecer os roadmaps tecnológicos do hidrogénio da Europa, países nórdicos, Dinamarca, E.U.A., Japão e Canadá, bem como uma análise comparativa dos principais aspectos destes roadmaps.*

## HIDROGEN BASED ECONOMY: THE PATH TO A NEW ENERGETIC PARADIGM?

### **Abstract**

*The aim of this article is to explore the issues related to hydrogen based economy. Several technological roadmaps have been developed, in the last few years for European countries as well as USA, Japan and Canada, among others. The technological roadmaps can be seen as a powerful tool to show the ways to get to hydrogen based economy.*

---

<sup>1</sup> [susana.escaria@dpp.pt](mailto:susana.escaria@dpp.pt) – Técnica Superior da Direcção de Serviços de Prospectiva Estratégica.

## I. INTRODUÇÃO

O esgotamento do paradigma energético, assente nos combustíveis fósseis, assume cada vez maior probabilidade de se concretizar: o crescimento das economias China, Índia e Rússia; as limitações potenciais na oferta de petróleo; os desafios do ambiente e das alterações climáticas Pós-Quito e os avanços da I&D orientados para a energia, são determinantes para uma transição para um novo paradigma energético.

A evolução dos aspectos-chave (*key drivers*) da mudança como o crescimento populacional, o desenvolvimento económico, as reservas de petróleo e o acesso a essas reservas, bem como às reservas de gás natural, as tecnologias energéticas e as políticas económicas relacionadas com a protecção do ambiente e com as alterações climáticas, determinarão o momento e a necessidade da alteração do paradigma energético.

Segundo o Secretário da Energia Norte Americano<sup>2</sup>: "Uma economia baseada no hidrogénio significa: um mundo onde são resolvidos os problemas de poluição, as necessidades de energia estão asseguradas pela existência de fontes de energia abundantes e disponíveis e as questões relacionadas com a utilização de recursos escassos são um aspecto do passado".

Este artigo pretende contribuir para uma sistematização do estado da arte do hidrogénio e da economia baseada no hidrogénio. Apontam-se os cenários alternativos e os caminhos (*roadmaps* tecnológicos) que alguns dos países mais desenvolvidos têm vindo a adoptar ou enunciam como mais prováveis, para se alterar e atingir um novo paradigma energético.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: na secção I (Introdução); a secção II pretende fazer uma sistematização dos cenários e das trajectórias tecnológicas ao nível dos indicadores-chave (II.1), dos cenários (II.2) e dos resultados (II.3), a partir de uma análise comparativa entre os cenários propostos pela Comissão Europeia (WETO – H2) e os da OCDE (TECH PLUS).

Na secção III (O TECHNOLOGY ROADMAP DO HIDROGÉNIO: O CAMINHO PARA UM NOVO PARADIGMA ENERGÉTICO?) descreve-se sumariamente o que é o hidrogénio (III. 1), seguido de uma análise dos vários *roadmaps* tecnológicos do hidrogénio (III.2): europeu, nórdico, dinamarquês, americano, japonês e canadiano, terminando com uma análise comparativa das diferenças e dos pontos comuns dos vários *roadmaps*, bem como das cadeias energéticas que se podem estabelecer a partir desses *roadmaps* (III.3).

Conclui-se a análise na secção IV.

---

<sup>2</sup> Spencer Abraham: "National Hydrogen Energy Roadmap" – United States Department of Energy (2002).

## II. ENERGIA E TECNOLOGIA: CENÁRIO DE REFERÊNCIA E TRAJECTÓRIAS TECNOLÓGICAS

As tendências de evolução do sistema energético, designadamente, as várias histórias que se podem relatar acerca do futuro da energia, foram consideradas por diversas entidades internacionais (como OCDE, Comissão Europeia) preocupadas em explorar as várias opções tecnológicas e de política energética para os próximos 50 anos.

Este ponto tem como objectivo confrontar os cenários propostos pela Comissão Europeia (WETO – H2) e pela OCDE (TECH)<sup>3</sup> no que diz respeito ao sistema energético mundial e em termos de blocos regionais. A exploração dos vários cenários é um instrumento fundamental para visualizar os caminhos do sistema energético, causa e efeito do desenvolvimento económico e da protecção do ambiente.

O confronto dos exercícios de cenarização terá em consideração os seguintes aspectos: a evolução e projecção dos indicadores chave (*key drivers*) e a construção de um cenário de referência e de cenários alternativos. Por seu turno, a exploração contrastada dos cenários será feita em torno das três vertentes do sistema energético: a oferta de energia (produção de energia primária e a produção de hidrogénio), a procura de energia (consumo final de energia por sectores de actividade/aplicações e produção de electricidade) e as emissões de CO<sub>2</sub>.

### II.1. Evolução e Projecção dos Indicadores-Chave (*Key Drivers*)

Em qualquer economia, o sistema energético é causa e efeito do modelo de crescimento económico adoptado. As duas variáveis síntese que poderão traduzir essa realidade são, naturalmente, a população e o produto gerado na economia.

---

<sup>3</sup> “World Energy Technology Outlook 2050” e “Energy Technology Perspectives 2006 – Scenarios & Strategies to 2050”.

Quadro 1: Os *Key Drivers* do Sistema Energético

unidade: taxa variação anual (%)

Indicadores Chave	WETO - H2			TECH			
	1990/2010	2010/2030	2030/2050	1990/2004	2004/2015	2015/2030	2030/2050
<b>Mundo</b>							
População	1,3	0,9	0,5	1,4	1,1	0,8	0,7
PIB	3,5	2,9	2,2	3,4	4,0	2,9	2,6
PIB per capita	2,1	2,0	1,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Europa</b>							
População	0,3	0,1	-0,2	0,5	0,3	0,1	-0,9
PIB	2,1	2,1	1,4	2,2	2,3	1,8	0,7
PIB per capita	1,8	2,0	1,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>América Norte</b>							
População	1,1	0,8	0,5	1,3	0,9	0,7	0,5
PIB	3,1	2,0	1,5	3,0	2,9	2,0	1,6
PIB per capita	2,0	1,2	1,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>							
População	-0,1	-0,3	-0,5	-0,2	-0,2	0,3	-0,1
PIB	0,1	2,9	1,8	-0,8	4,4	2,9	3,4
PIB per capita	0,2	3,2	2,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Pacífico (b)</b>							
População	0,4	0,0	-0,2	0,5	0,2	-0,1	-0,2
PIB	2,0	1,9	1,4	2,2	2,3	1,6	1,6
PIB per capita	1,6	1,9	1,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Ásia (c)</b>							
População	1,3	0,8	0,3	1,5	1,1	0,8	0,9
PIB	6,8	4,0	2,7	7,3	6,4	4,1	1,6
PIB per capita	5,4	3,2	2,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>África (d)</b>							
População	2,3	1,8	1,3	2,4	2,1	1,8	1,8
PIB	3,7	3,4	3,8	2,8	4,4	3,6	3,6
PIB per capita	1,3	1,6	2,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>América Latina</b>							
População	1,5	0,9	0,4	1,6	1,3	0,9	0,7
PIB	3,2	3,0	2,2	2,8	3,5	2,9	2,8
PIB per capita	1,7	2,1	1,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) no WETO - H2 inclui o Médio oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

É relativamente consensual o facto de um crescimento destas duas variáveis originar um aumento do consumo de energia. No entanto, o crescimento do produto pode ser utilizado para analisar a racionalização do consumo de energia, se o aumento do PIB for canalizado para investir na aplicação e investigação de novas tecnologias mais eficientes do ponto de vista energético.

Em termos mundiais, em ambos os estudos, prevê-se um abrandamento do ritmo de crescimento, especialmente da população no sentido de uma relativa estabilização. As projecções do TECH, em termos mundiais, são ligeiramente mais optimistas do que as do WETO – H2, embora a nível regional nem sempre se verifique esta tendência.

A nível regional, destacam-se:

- ◆ apesar do abrandamento do ritmo de crescimento ser consensual, estima-se uma quebra de população, no período 2030/2050 nas regiões da Europa, Japão e Rússia;
- ◆ o crescimento do PIB e da população, acima da média, das regiões em vias de desenvolvimento, associado a maiores necessidades de consumo de energia.

Contudo, denota-se uma desaceleração mais marcada na China e na Índia, em particular a partir de 2030, e no que diz respeito ao PIB, já que se assistirá, desde 2010 – 2015, a uma relativa estabilização da população;

- ◆ o crescimento do bem-estar acima da média nas Comunidades de Estados Independentes resulta de uma projecção de crescimentos significativos do produto associados a quebras de população, contrariando a tendência generalizada no resto do mundo.

## II.2. Os Cenários

Em termos gerais, tanto o WETO-H2 como o TECH desenvolveram três cenários: um de referência ou de base, e duas variantes, exploratórias das opções tecnológicas e das políticas energéticas alternativas.

**Caixa 1: Hipóteses dos Cenários de Referência WETO - H2 e TECH**

WETO – H2	TECH
<p>Projecção de Referência:</p> <p>Adopção de previsões exógenas de população e crescimento económico e assume hipóteses relativamente à disponibilidade de recursos energéticos fósseis, dos custos e dos desempenhos das tecnologias futuras.</p> <p>Utiliza um modelo de simulação para o sector energético até 2050 (POLES) e descreve as suas interacções em termos de mercado internacional da energia, restringido pelos recursos e pela política do ambiente.</p> <p>Este cenário reflecte a conjuntura geopolítica de curto e médio prazo, os preços do petróleo e nível de actividade política, o ajustamento às restrições no acesso ao petróleo e gás natural e às emissões de CO<sub>2</sub>.</p>	<p>Cenário de Referência:</p> <p>Admite-se os efeitos que o estado da arte da tecnologia, as medidas de eficiência energética e as políticas económicas adoptadas induzem no sistema energético.</p> <p>Este cenário reproduz os efeitos de longo prazo do <i>stock</i> de capital utilizado na energia, da variação dos preços de petróleo e do gás, que induz uma maior utilização de combustíveis fósseis não convencionais (e do carvão e do gás), de uma relativa estagnação do crescimento populacional e de um amadurecimento das economias dos países em desenvolvimento.</p> <p>Utilizou-se o modelo ETP (Energy Technology Perspectives Model).</p>

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

## Caixa 2: Hipóteses dos Cenários Restrições de Carbono e ACT

<p>Cenário: <b>Restrições de Carbono</b></p> <p>Reflecte a evolução mundial admitindo objectivos relativamente moderados para proteger o ambiente (níveis de concentração de emissões de CO<sub>2</sub>, no longo prazo, de 550 ppm).</p> <p>Este cenário é analisado de um ponto de vista meramente económico: o preço dos hidrocarbonetos inclui o preço das restrições a estas fontes de energia, com consequências no preço final de energia pago pelos consumidores. Isto leva a uma modificação: da procura, nas elasticidades – preço e na taxa de penetração das tecnologias para gerar electricidade, produzir hidrogénio, adoptar veículos e construir edifícios com baixas emissões de CO<sub>2</sub>.</p>	<p>Cenário: <b>ACT</b> (Accelerated Technology)</p> <p>É composto por um conjunto de cinco cenários, onde se analisam o potencial das tecnologias energéticas, das melhores práticas para reduzir a procura de energia e das emissões poluentes e a diversificação das fontes de energia primária.</p> <p>Estes cenários enfatizam o estado da arte da tecnologia ou daquela com maior probabilidade de estar disponível no mercado nas próximas duas décadas. Os resultados obtidos ilustram o impacto das políticas económicas na superação dos obstáculos que se colocam ao desenvolvimento destas tecnologias.</p> <p>Nos cenários que compõem o ACT é assumido que há uma diferenciação no ritmo de superação dos obstáculos tecnológicos, nas reduções de custo e nos ganhos obtidos com a aceitação pública da tecnologia. As hipóteses admitidas para a tecnologia, que originam cinco cenários distintos são: 1) progressos na redução dos custos das tecnologias que produzem electricidade a partir de fontes de energia renováveis (eólica e solar) (ACT Low Renewables); 2) restrições ao desenvolvimento de centrais de energia nuclear (fraca aceitação pública, resíduos nucleares e não proliferação armas nucleares) (ACT Low Nuclear); 3) o risco de que as tecnologias de captura e armazenamento de emissões de CO<sub>2</sub> não estejam no mercado em 2050 (ACT No CCS); 4) eficácia da política económica em induzir o aumento das tecnologias de utilização final de energia eficiente (aumento da procura e <i>mix</i> de fontes de energia) (ACT Low Efficiency); 5) cenário que conjuga as quatro hipóteses anteriores de forma mais optimista (ACT Map): a tecnologia CCS está no mercado a custos elevados; os efeitos de aprendizagem da tecnologia ainda se fazem sentir ao nível da redução dos custos das energias eólica e solar; expansão da energia nuclear com fraca resistência do público, resolução do problema dos resíduos e da não proliferação de armas; aumento da eficiência energética por via da aplicação das melhores práticas e de tecnologias mais eficientes nos transportes, edifícios e indústria; os biocombustíveis tornam-se uma alternativa viável aos combustíveis fósseis ao nível dos transportes (etanol, lignocelulósicos e culturas energéticas) e redução nos custos dos veículos movidos a pilhas de combustível de hidrogénio mas ainda com fraco impacto no sector dos transportes.</p>
---	--

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Caixa 3: Hipóteses dos Cenários Hidrogénio e TECH Plus

<p>Cenário: <b>Hidrogénio</b></p> <p>Consideram-se patamares tecnológicos e socioeconómicos alternativos, que correspondem a formas diferentes de incorporar o hidrogénio no sistema energético. Isto implica um certo número de rupturas tecnológicas que tornem as tecnologias relacionadas com o hidrogénio mais eficientes, especialmente, em termos de utilização final.</p> <p>Este cenário procura identificar os mecanismos iniciais para a criação de <i>clusters</i> tecnológicos, descritos como "caminhos" de uma forma que o preenchimento de um conjunto de condições facilitaria o desenvolvimento específico da "economia do hidrogénio".</p> <p>Este cenário aponta para duas vias, não mutuamente exclusivas, de atingir a "economia do hidrogénio": uma que resulta da produção centralizada de hidrogénio a partir de combustíveis fósseis e outra que tem origem na electricidade.</p> <p>Na primeira via, produção centralizada de hidrogénio a partir de combustíveis fósseis, é distribuída e utilizada, quer nos transportes, quer na geração de electricidade e calor. As tecnologias da reformação do vapor utilizando gás natural ou gaseificação do carvão, são tecnologias maduras e competitivas para produzir hidrogénio.</p> <p>Na segunda via, a produção de hidrogénio baseada na electricidade, por via da electrólise da água, é utilizada basicamente em motores de combustão interna. Em momentos fora de pico, utiliza-se a electricidade obtida de energias renováveis e nuclear.</p>	<p>Cenário: <b>TECH Plus</b></p> <p>Assume hipóteses mais optimistas, comparativamente às do cenário ACT Map, relativamente ao progresso das tecnologias energéticas: 1) reduções significativas nos custos das pilhas de combustível, 2) geração de electricidade a partir de tecnologias que utilizem fonte de energia renováveis, 3) maior importância da energia nuclear e dos biocombustíveis.</p>
--	---

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Pela análise comparativa da caixas 1, 2 e 3, é possível concluir que:

- ◆ os cenários de referência, são relativamente idênticos no que respeita aos pressupostos e hipóteses de partida: recursos energéticos fósseis disponíveis, preços do petróleo e do gás, políticas para a energia, produto gerado na economia, crescimento populacional e utilização de modelos econométricos de simulação;
- ◆ os cenários de evolução moderada, como os cenários de restrições de carbono e ACT, apresentam mais diferenças: o primeiro conta a história de evolução lenta dos comportamentos e da adopção de novas tecnologias, enquanto que, no cenário ACT, o detalhe é maior, sendo mais clara a questão da adopção das novas tecnologias, da diversificação de fontes de energia e da aceitação pública;

- ◆ os cenários de evolução mais radical, hidrogénio e Tech Plus, também apresentam pressupostos distintos. O cenário hidrogénio mais detalhado e com um salto qualitativo muito maior, comparativamente ao cenário de referência e ao cenário de restrições de carbono: o hidrogénio é assumido como a energia (intermediário e fonte final) dominante do sistema energético, podendo ser seguidos dois caminhos, não mutuamente exclusivos, para se atingir uma economia baseada no hidrogénio (Figura 1).

**Figura 1: Dois Caminhos para o Hidrogénio: WETO – H2**

	<b>Produção centralizada</b>	<b>Produção baseada na electricidade</b>
<b>Produção de H2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* rápido desenvolvimento das técnicas de baixo custo de gaseificação do carvão com tecnologia CCS</li> <li>* reformação centralizada do gás natural</li> <li>* reformação no local em estações de abastecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* desenvolvimento da electrólise no local</li> <li>* baixo custo da electricidade fora de pico</li> <li>* crescimento rápido da electricidade "limpa"</li> </ul>
<b>Distribuição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* depósitos p/ veículos com hidrogénio liquefeito</li> <li>* <i>pipeline</i> p/ hidrogénio gaseificado</li> <li>* rede p/ reformação de gás natural no local</li> <li>* gaseificação da biomassa por pirólise do petróleo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* rede eléctrica com electrólise no local</li> <li>* distribuição de H2 em pequenas quantidades e em curtas distâncias através de depósitos em veículos</li> </ul>
<b>Armazenamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* limitações de infraestruturas de H2</li> <li>* limitações de armazenamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* disponibilidade potencial ilimitada, inclui electrólise no local</li> <li>* questões de armazenamento resolvidas pela produção em massa</li> </ul>
<b>Aplicações Estacionárias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* utilização intensa de H2 na geração de electricidade</li> <li>* melhorias iniciais no tempo de vida útil e na durabilidade das pilhas de combustível de elevadas temperaturas</li> <li>* nichos de mercado rapidamente preenchidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* francas melhorias no tempo de vida útil e na durabilidade das pilhas de combustível de elevadas temperaturas</li> <li>* nichos de mercado rapidamente preenchidos p/ indústria e edifícios residenciais</li> </ul>
<b>Transportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* eficiência dos motores utilizadores de H2</li> <li>* melhorias nas tecnologias híbridas</li> <li>* introdução em larga escala e no médio prazo de pilhas de combustível</li> </ul>	
<b>Infraestrutura e Investimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* gás natural e redes de distribuição de H2</li> <li>* armazenamento de CO2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* produção de electricidade baseada em combustíveis "limpos" não fósseis</li> </ul>

Legenda:

CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2

H2 - hidrogénio

CO2 - dióxido de carbono

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).



### II.3. Os Resultados

Os resultados, para cada um dos cenários<sup>4</sup>, assentam em várias hipóteses críticas, como a disponibilidade e o acesso às reservas de petróleo e gás natural, as tecnologias energéticas e as políticas de ambiente.

A disponibilidade das reservas futuras de petróleo e gás natural não são verdadeiramente conhecidas, mas o estudo WETO - H2 admite um aumento das reservas até 2050 em resultado da aplicação das inovações tecnológicas. Além disso, a instabilidade política e a evolução geopolítica das regiões fornecedoras dos hidrocarbonetos são um factor de constrangimento dos cenários.

O desenvolvimento das tecnologias energéticas é crucial na definição do novo sistema energético. Nos próximos 50 anos as novas tecnologias energéticas colocam desafios importantes ao sistema baseado nos combustíveis fósseis e à electricidade como principal intermediário. Torna-se crítica a introdução e desenvolvimento de opções tecnológicas como a captura e armazenamento das emissões de CO<sub>2</sub>, a produção, distribuição e armazenamento de hidrogénio, sistemas de distribuição de electricidade diversificados e biunívocos e tecnologias de utilização final com baixa utilização de energia e baixíssimas emissões de CO<sub>2</sub>.

A par da energia, a variável ambiente passará a fazer, cada vez mais parte da agenda política, sendo uma hipótese considerada nos vários cenários.

O “mundo energético”, em 2050, se se concretizassem os **cenários de referência** (caixas A1, A4 e A7, quadros A1, A5, A6 e A13), reflectiria as seguintes tendências:

- ◆ os preços do petróleo subiriam; o carvão seria a fonte de energia primária mais importante para alimentar o crescimento sustentado da energia eléctrica; as tecnologias de captura e armazenamento das emissões de CO<sub>2</sub> não seriam suficientes, apesar da diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, pois ¾ da produção de energia teria origem nos hidrocarbonetos;
- ◆ ao nível do consumo de energia, os resultados apresentados pelos cenários serão contraditórios: para o WETO – H2, o consumo final de energia crescerá a um ritmo inferior ao do produto, o que pressuporia um aumento da eficiência energética; para o TECH, o consumo final de energia aumentaria em virtude de um aumento da produção de combustíveis sintéticos, intensivos em energia.

Se o “mundo energético”, em 2050, se comportasse como os **cenários restrições de carbono e ACT Map** (caixas A2, A5 e A8), então:

---

<sup>4</sup> Em Anexo encontram-se os cenários detalhados e quantificados de cada um dos estudos WETO – H2 e TECH.

- ◆ o carvão, como fonte primária de energia, diminuiria de importância, aumentaria a diversificação das fontes de energia primária, os preços do petróleo e do gás natural diminuiriam, o que iria implicar que o efeito das políticas restritivas de desincentivo à utilização de combustíveis fósseis fosse mitigado;
- ◆ a alteração da estrutura das fontes de energia primária que gerariam electricidade, do carvão a favor das energias nuclear e renováveis, iria ser acompanhada por uma diminuição do consumo final de energia, devido à adopção de tecnologias de utilização final mais eficientes;
- ◆ a nova composição da carteira de fontes primárias de energia, levaria a uma alteração da importância relativa dos emissores de CO<sub>2</sub>, da electricidade para os transportes, indústria e edifícios residenciais. Apesar da difícil introdução de combustíveis com baixo teor de carbono, aumentaria a eficiência energética dos equipamentos industriais e dos veículos por via de adopção de novas tecnologias mais eficientes.

Se o “mundo energético”, em 2050, estivesse de acordo com os **cenários hidrogénio e TECH Plus** (caixas A3, A6 e A9), então:

- ◆ a importância dos hidrocarbonetos, enquanto fonte primária de energia, reduzir-se-ia a metade e estaria associada a tecnologias de captura e armazenamento de emissões de CO<sub>2</sub>, as soluções tecnológicas para a introdução do hidrogénio seriam competitivas e basear-se-iam numa diversificação significativa das fontes de energia primária;
- ◆ o aumento da eficiência energética seria resultado de dois efeitos conjugados: diminuição do consumo de petróleo e aumento do consumo de energia para produzir biocombustíveis e hidrogénio. Os veículos movidos a hidrogénio ganhavam cada vez mais importância;
- ◆ as emissões de CO<sub>2</sub> seria estáveis ou teriam tendência para diminuir, especialmente, as emitidas pelos transportes.

Segundo as projecções do WETO – H2, o sistema energético mundial apresentará as seguintes características em termos **geográficos** (quadros A2, A3 e A4; quadros A7, A8, A9, A10, A11, A12 e quadros A14, A15 e A16):

- ◆ mais de metade da **produção primária de energia** localizar-se-á na Ásia (China e Índia) e na África e Médio Oriente, na primeira com base no carvão e na segunda com base no petróleo e gás natural. Só a América do Norte (E.U.A e Canadá) representará 17,9% do total da produção primária de energia (reduzindo de importância nos cenários restrições de carbono e hidrogénio em 2,3 p.p.);
- ◆ o Pacífico (Japão), de 1990 a 2050, manterá um ritmo de crescimento da produção primária acima dos 2,2% ao ano; a maior parte das regiões, à excepção da África e

da América Latina, registará uma aceleração do crescimento da produção de 2030 a 2050. Inclusivamente, no cenário de restrições de carbono, a América do Norte e a Europa serão as regiões que registarão a maior aceleração do crescimento da produção primária de energia, passando de quebras entre 2010 e 2030 para crescimentos acima da média mundial de 2030 a 2050;

- ◆ a Ásia e a América do Norte serão responsáveis por mais de metade da **produção de hidrogénio**, e a Europa por 15,9%. À excepção da América do Norte (no cenário de referência), a produção de hidrogénio mundial será essencialmente feita a partir de energias renováveis;
- ◆ a produção de hidrogénio registará crescimentos significativos na generalidade das regiões, acima dos 11% ao ano a partir de 2010. A diferença mais significativa em relação aos cenários de referência e de restrições do carbono será a forte concentração da produção de hidrogénio, baseada nas energias renováveis e nuclear (41,3%) na Ásia (aumentará o peso da América do Norte 19,6% e diminuirá o da Europa 11,5%);
- ◆ cerca de 39,8% do **consumo final de energia** localizar-se-á na Ásia (China e Índia) especialmente de petróleo e electricidade, aumentando para 41,3% no cenário hidrogénio. Neste cenário, a América do Norte aumentará de importância passando para 15,2% do total do consumo mundial e a África diminuirá para 12,5% (14,9% nos cenários anteriores);
- ◆ o **consumo de hidrogénio** só será significativo no cenário hidrogénio (chega a atingir 3% do total mundial na Ásia, 1,3% na América do Norte e menos de 1% na Europa). O hidrogénio apresentará um grande dinamismo, ao nível do consumo, registando as mais altas taxas de crescimento dos três cenários (16% ao ano);
- ◆ em 2050, a **geração de electricidade** será, essencialmente, de origem térmica, baseada no carvão e no gás natural; a energia nuclear terá um peso importante nas regiões desenvolvidas e na Ásia (China e Índia) e o hidrogénio ainda não será significativo como gerador de electricidade. Estas tendências acentuam-se no cenário hidrogénio: em 2050 e na generalidade das regiões, a geração de electricidade passará a ter um predomínio na energia nuclear, passando a energia térmica para segundo plano; o hidrogénio continua a não ser significativo como gerador de electricidade, mas será visível a sua introdução no sector dos transportes;
- ◆ a produção de electricidade crescerá a ritmos particularmente elevados nas regiões menos desenvolvidas, acima da média mundial;
- ◆ as regiões menos desenvolvidas serão responsáveis por mais de 60% das **emissões de CO<sub>2</sub>** do mundo, e embora a ritmos decrescentes, as emissões irão crescer significativamente acima da média;

- ◆ apenas a região da Ásia (China e Índia) emitirá 43,9% do total de CO<sub>2</sub> e em virtude do crescimento do produto e da população destas economias, as emissões de CO<sub>2</sub> na geração da electricidade e na indústria serão de 16,0% e 10,8%, respectivamente;
- ◆ no cenário de referência, a Europa, a América do Norte e a Ásia, realizam mais de 80% do total das capturas das emissões de CO<sub>2</sub> (20,8%, 25,1% e 34,6%, respectivamente). No entanto, a nível intra-regional, e analisando a captura de emissões de CO<sub>2</sub> no total de emissões de cada região, a Europa realiza 13,3% de capturas, seguida do Japão (11,1%), ficando-se a Ásia por 4,5% de capturas do que emite. Esta tendência acentuar-se-á no cenário de restrições de carbono e no cenário hidrogénio estender-se-á às regiões menos desenvolvidas, com a África e a América Latina a capturarem, cada uma delas, quase 20% do total das emissões de CO<sub>2</sub> de cada região.

Perante uma expectativa de evolução para uma economia baseada no hidrogénio, quais os caminhos escolhidos para atingi-la? Que *roadmaps* tecnológicos poderão traçar os diversos países? Quais os pontos comuns e os aspectos que os distinguem?

### III. O *TECHNOLOGY ROADMAP* DO HIDROGÉNIO: O CAMINHO PARA UM NOVO PARADIGMA ENERGÉTICO?

Um *Roadmap* Tecnológico (*Technology Roadmap*) é um dos tipos de *roadmaps* possíveis e que pode ter várias aplicações. Considerado como uma das características indispensáveis a uma Plataforma Tecnológica, é um instrumento importantíssimo para descrever toda a acção levada a cabo numa plataforma.

Um *roadmap* surge como um guia de orientação da aplicação de investigação e desenvolvimento (I&D), designadamente, estratégia, planeamento, implementação e monitorização de resultados, sendo um instrumento de marketing interessante, que permite identificar obstáculos, oportunidades e áreas de pesquisa, desenvolvendo a interacção entre os actores.

Deste modo, o *roadmap* tecnológico pode ser visto como uma importante ferramenta da prospectiva, pois providencia a geração de futuras opções; é um guia de decisões que facilita o acesso à informação e à discussão de todos os actores; compara, sintetiza e faz a convergência da informação, eventualmente, extensa e complexa, estruturando o diálogo e a comunicação; é um auxílio precioso para levar a cabo o trabalho e aplicação dos resultados.

Sendo o contexto de trabalho da prospectiva “o futuro”, o *roadmap* é uma forma de poupar tempo e esforços, no sentido em que, lida com quantidades massivas de informação e de caminhos que a I&D pode enveredar e das suas eventuais aplicações. Um *roadmap* deve por isso, adoptar uma estrutura suficientemente flexível para incorporar o dinamismo da mudança, fazendo uma ligação coerente entre o presente e o futuro.

Neste capítulo procurar-se-á analisar os vários *roadmaps* tecnológicos, levados a cabo em diversos países, no pressuposto que irá ser adoptado um novo sistema energético baseado no hidrogénio.

#### III.1. O Hidrogénio

O hidrogénio é o elemento mais comum no universo, mas ao nível do planeta Terra só existe em combinação com outros elementos, nomeadamente, o oxigénio (água), o carbono (gás natural), o petróleo, o carvão ou biomassa. A sua utilização industrial tem mais de um século, especialmente ao nível das indústrias química e petrolíferas.

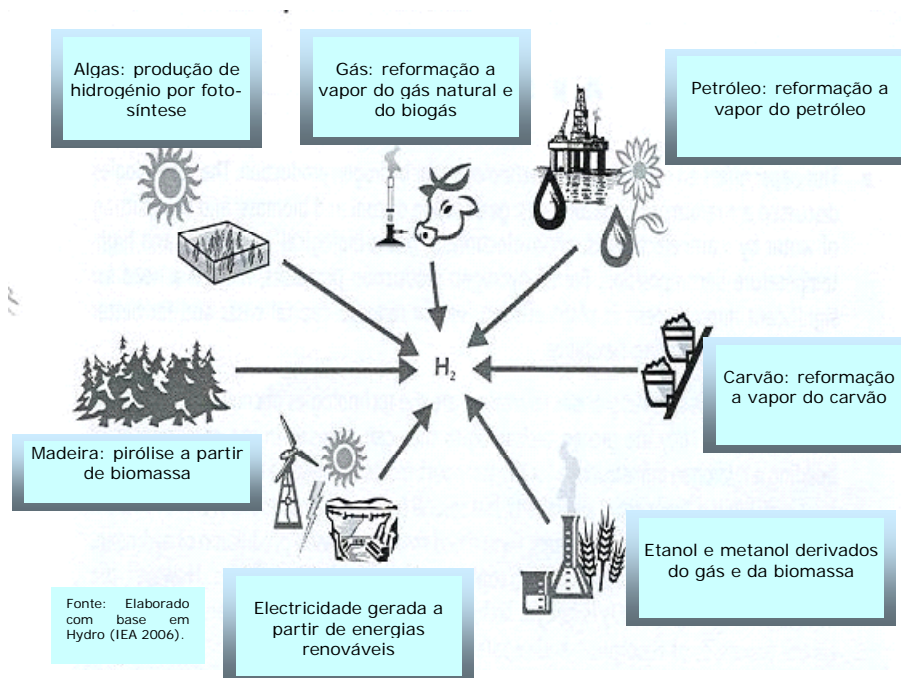
O hidrogénio como um intermediário (*carrier*) de energia, quer na distribuição de electricidade, quer como combustível para os transportes, é uma ambição muito forte das economias desenvolvidas. Entre as principais vantagens de uma economia baseada no hidrogénio incluem-se: elevada eficiência, produção de energia descentralizada, segurança de abastecimento, emissões de CO<sub>2</sub> reduzidas, operações de confiança e sem ruído, eficiência energética, múltiplas utilizações como a oportunidade para o desenvolvimento de veículos híbridos, através da utilização de pilhas de combustível (alimentadas a hidrogénio).

A transição para uma economia baseada no hidrogénio enfrenta problemas de natureza diversa: técnica, económico-social, produção, distribuição e infra-estrutura de armazenamento, conversão e utilização final.

Entre os obstáculos mais importantes salientam-se: os enormes desafios tecnológicos e os investimentos maciços para criar capacidade e infra-estruturas para produzir e distribuir hidrogénio.

Existem diversas formas de produzir hidrogénio, em consonância com a multiplicidade de matérias-primas e de tecnologias utilizadas na sua produção (figura 2).

**Figura 2: Matérias-Primas e Processos Alternativos de Produção de Hidrogénio**



O estudo WETO – H<sub>2</sub><sup>5</sup> distinguiu cinco tipos de tecnologias de **produção de hidrogénio** com maiores potencialidades de serem desenvolvidas nos próximos 50 anos:

<sup>5</sup> European Commission: "WORLD ENERGY TECHNOLOGY OUTLOOK – 2050 WETO – H<sub>2</sub>", 2006

#### Caixa 4: Cinco Tecnologias de Produção de Hidrogénio

##### Reformação a vapor do gás natural:

- Neste processo, o gás natural reage com o vapor a temperaturas entre 700 a 1000°C. A existência de um catalisador permite a produção de hidrogénio, monóxido de carbono e dióxido de carbono, que com subseqüentes separações permite obter um hidrogénio moderadamente puro.
- Actualmente, é a forma mais comum e com menor custo de produzir hidrogénio. Este processo, utiliza as infra-estruturas do gás natural existentes para produzir o hidrogénio. A distribuição do hidrogénio pode ser feita a partir de gasodutos ou por camiões especiais para o efeito.
- A reformação do gás natural em pequena escala pode ser desenvolvida e distribuída da mesma forma que o gás natural, mas tem custos elevados e requer espaços alargados.
- Devido à sua característica de divisibilidade, é uma opção muito atractiva para a sua aplicação aos transportes, seja produção centralizada, seja produção descentralizada. Na produção centralizada, em centrais de produção de média e grande escala, o hidrogénio pode ser aplicado em frotas de veículos terrestres, aéreos, navios e comboios. Na produção descentralizada, o hidrogénio pode ser utilizado para abastecer veículos de passageiros em estações de abastecimento.
- Existem alguns problemas na produção de hidrogénio através desta tecnologia, pois depende da disponibilidade de gás natural, emite CO<sub>2</sub>, o que exige a produção em grande escala, necessária para a utilização das tecnologias CCS, e depende da utilização que é dada ao hidrogénio, uma vez que, o hidrogénio resultante não é completamente puro, não podendo, ser utilizada por exemplo, em pilhas de combustível PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell).

##### Gaseificação do carvão:

- É um processo que decompõe hidrocarbonetos sólidos em gases e resíduos. Utilizando a tecnologia mais moderna, o carvão reage com o vapor a temperaturas elevadas e à pressão com quantidades controladas de ar e oxigénio. Este processo, através de sucessivas separações, permite obter hidrogénio e hidrogénio/electricidade mas, não completamente puro, o que coloca problemas na utilização de algumas pilhas de combustível como as PEMFC.
- Associada à gaseificação do carvão está a gaseificação integrada em ciclo combinado, a qual permite produzir electricidade. Esta tecnologia está actualmente no mercado e será, a médio prazo, uma tecnologia que poderá alterar a estrutura da balança energética, no sentido em que, diminui a dependência dos combustíveis fósseis e permite adaptar e rede eléctrica às fontes de energia renováveis, que têm um carácter intermitente.
- Esta tecnologia é uma das formas mais promissoras de produzir hidrogénio, especialmente em grandes centrais, devido à necessidade de a integrar com a tecnologia CCS, economicamente viável apenas em grande escala.
- No entanto, esta tecnologia emite elevados volume de CO<sub>2</sub>, sendo ambientalmente viável se e só se for integrada com tecnologias CCS.

#### **Gaseificação da biomassa:**

- A biomassa é um importante substituto dos combustíveis fósseis e pode ser gaseificada da mesma forma do carvão. Várias fontes de biomassa podem ser utilizadas na produção de hidrogénio (madeira, resíduos florestais e sólidos urbanos), o que permite a produção descentralizada junto do local de utilização, reduzindo drasticamente os custos.
- A gaseificação da biomassa depende da matéria-prima utilizada, caracterizada por ter uma baixa densidade e alta volatilidade (a ultrapassagem deste problema requer um processo de gaseificação em dois passos (pirólise/gaseificação).
- Esta tecnologia ainda não está a ser implementada e são incertos os custos associados ao investimento neste tipo de tecnologia.

#### **Electrólise da água:**

- A electrólise da água corresponde à decomposição da água em oxigénio e hidrogénio possibilitada pela passagem de uma corrente eléctrica.
- A seguir à reformação a vapor do gás natural é a forma mais comum e eficiente de produzir o hidrogénio, sendo uma tecnologia com segurança reconhecida. No entanto, exige grandes quantidades de electricidade para produzir hidrogénio.
- Esta tecnologia tem as vantagens de ter uma natureza modular, a sua implementação requer baixas exigências de capital, produz um hidrogénio puro que pode ser utilizado em pilhas de combustível PEMFC (mais vocacionadas para os transportes) embora a custos mais elevados (devido à utilização intensiva de electricidade).
- As emissões de CO<sub>2</sub> dependem da forma como é produzida a electricidade e serão significativas se tiverem origem numa electricidade gerada a partir de combustíveis fósseis.

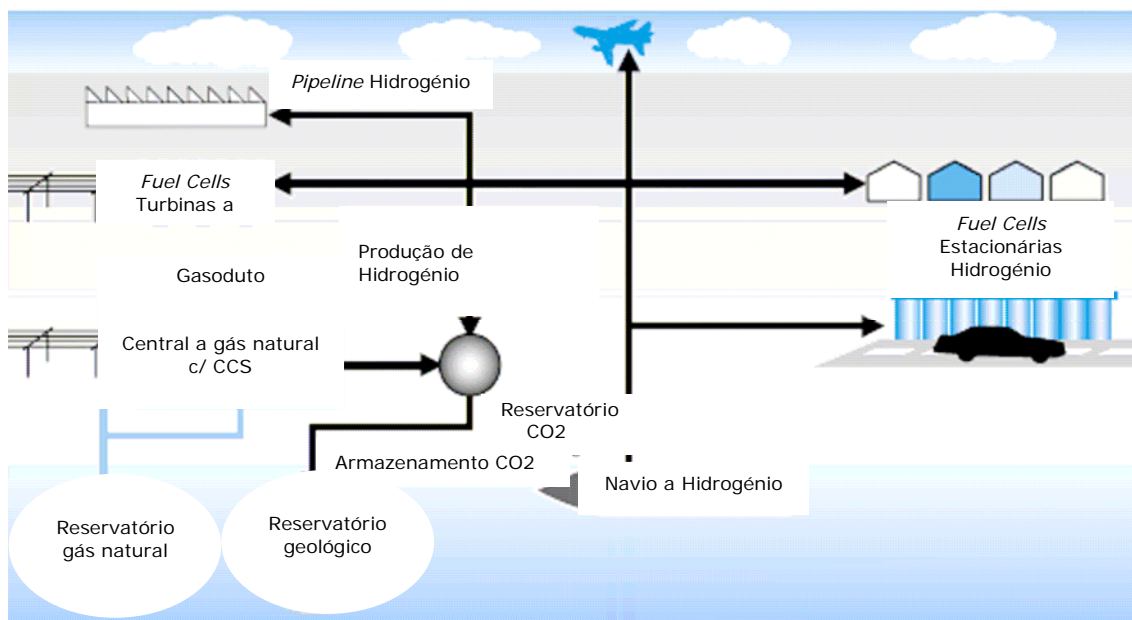
#### **Termólise e ciclos termo-químicos:**

- Resulta na separação da água em oxigénio e hidrogénio a elevadas temperaturas (2500°C) ou na utilização de reacções químicas que permite essa separação a temperaturas mais baixas (são promissores os ciclos enxofre – iodo e zinco oxigénio/zinco para produzir hidrogénio).
- A termólise de origem solar ainda está numa fase experimental, é uma tecnologia muito capital intensiva com elevados custos para produzir hidrogénio.

Fonte: Elaborado com base em WETO – H2 (Comissão Europeia 2006).



**Figura 3: A Produção Centralizada de Hidrogénio com Captura e Armazenamento de CO<sub>2</sub>**



Fonte: Elaborado com base em Hydro (IEA 2006).

Para além dos desafios tecnológicos que se colocam à produção de hidrogénio, existem aspectos relacionados com o **transporte e distribuição de hidrogénio** que requerem inovações tecnológicas, especialmente do transporte que está relacionado com a produção centralizada e em grande escala de hidrogénio. A produção descentralizada de hidrogénio não oferece, a curto prazo, problemas de distribuição tão importantes, uma vez que se podem utilizar as infra-estruturas do gás natural e ou da electricidade.

O transporte de hidrogénio pode ser feito de duas formas: sob a forma de gás comprimido e sob a forma de líquido sendo que estas formas exigem elevadas quantidades de energia.

O transporte de hidrogénio por *pipelines* dedicados ao hidrogénio tem custos elevadíssimos, o que incentiva a I&D a concentrar esforços na adaptação tecnológica dos gasodutos existentes para o gás natural.

O transporte de hidrogénio liquefeito só é possível por camiões ou transporte ferroviário e tem um custo inferior ao do transporte do hidrogénio no estado gasoso. Contudo, como é muito intensivo em energia, os custos de tornar o hidrogénio num estado líquido não compensa o custo de transporte mais baixo.

O **armazenamento do hidrogénio**, ao nível do estado da arte da tecnologia, é viável sob a forma líquida e para aplicações em transportes, embora um terço da energia seja perdida na transformação do hidrogénio para o estado líquido. São promissoras as formas de

armazenamento em metais híbridos de titânio, alumínio e magnésio e de absorção de hidrogénio em estruturas de carbono.

O armazenamento do hidrogénio sob a forma sólida está ainda numa fase inicial de demonstração mas apresenta inúmeras vantagens, comparativamente ao estado líquido e gasoso, pois têm um volume inferior, menor pressão, maior eficiência energética e um grau de pureza do hidrogénio muito maior.

O elemento crucial da economia baseada no hidrogénio é a conversão do hidrogénio em electricidade e armazenado numa **pilha de combustível** (*fuel cell*). Existem vários tipos de aplicações de pilhas de combustível, quer na mobilidade e portabilidade, quer em aplicações estacionárias e até mesmo em motores de combustão interna.

As pilhas de combustível podem ser diversas e são classificados de acordo com o electrólito que utilizam (o qual determina a reacção química que tem lugar na pilha, o catalizador necessário e a temperatura a que a pilha tem de operar): Alkaline FC (AFC), Proton Exchange Membrane FC (PEMFC), Phosphoric Acid FC (PAFC), Molten Carbonate FC (MCFC) e a Solid Oxide FC (SOFC)<sup>6</sup>.

As pilhas PEMFC, PAFC e SOFC são as mais apropriadas para aplicações estacionárias, sendo as PAFC consideradas como as pilhas de 1ª geração (testadas na década de 70), com 40% de eficiência energética e 85% em co-geração. As PAFC têm uma baixa densidade, que se traduz num elevado volume, peso e custo.

As PEMFC são a geração seguinte às PAFC mas, tal como as pilhas de 1º geração, utilizam um catalisador de platina (de custo muito elevado), embora forneçam mais energia por unidade de peso e volume de cada pilha de combustível. Esta pilha pode ser utilizada em aplicações estacionárias e em transportes.

As SOFC são as pilhas de combustível indicadas para aplicações na indústria e na geração de electricidade. Operam a temperaturas elevadas e custos mais baixos, pois não necessitam de utilizar um catalisador de metal.

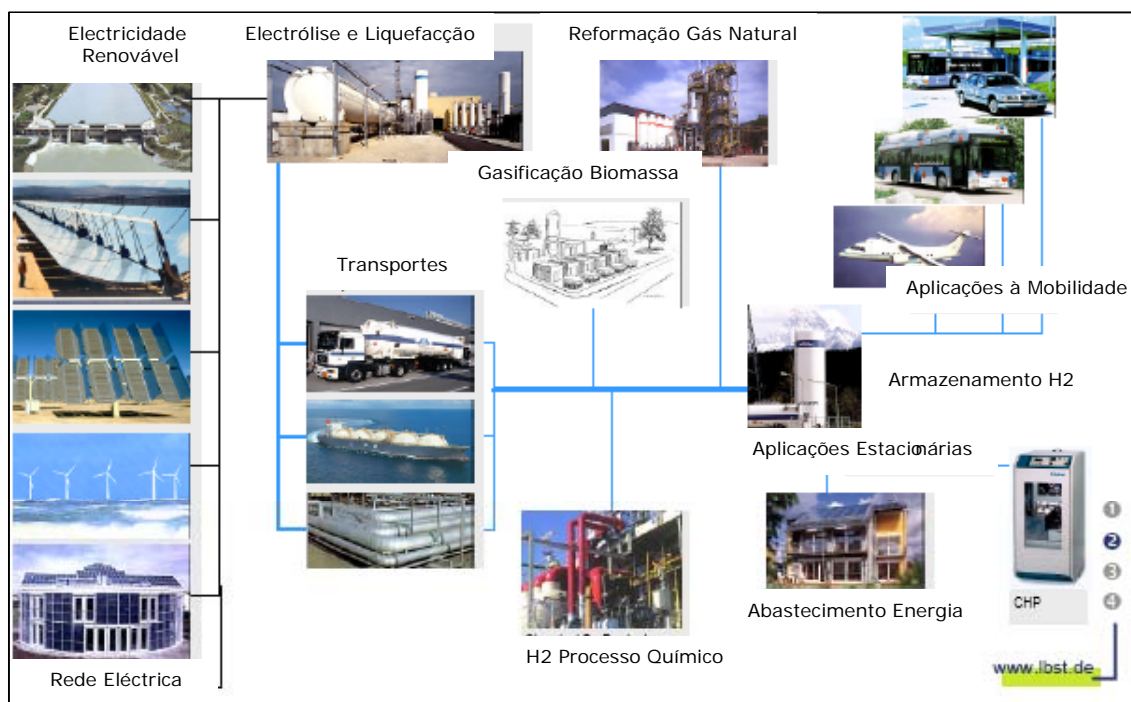
As pilhas de combustível desempenham um papel crucial na transição para uma economia baseada no hidrogénio mas, dependem de dois factores críticos: o custo do capital (ainda demasiado elevado) e o período de vida útil da pilha (ainda muito curto).

Uma economia baseada no hidrogénio poderá ter a seguinte configuração (figura 4):

---

<sup>6</sup> O NEDO, no seu documento relativo ao *roadmap* do hidrogénio e *fuel cells* (vide bibliografia) refere dois tipos de pilhas de combustível adicionais: as PEFC – Polymer electrolyte fuel cell e as DMFC – Direct methanol fuel cell.

**Figura 4: A Economia Baseada no Hidrogénio**



Fonte: Elaborado com base em Matthias Altmann (2004).

Uma economia baseada no hidrogénio é visível por uma produção de hidrogénio baseada numa diversidade de fontes de energia primária, especialmente assente em energias renováveis e na rede eléctrica; uma utilização de várias tecnologias e processos de produção de hidrogénio, com múltiplas aplicações.

No ponto III.2 irão ser analisados os vários caminhos que algumas economias desenvolvidas apontam como mais prováveis para se atingir uma economia baseada no hidrogénio.

### III.2. O *Technology Roadmap* do Hidrogénio: Comparação entre Países

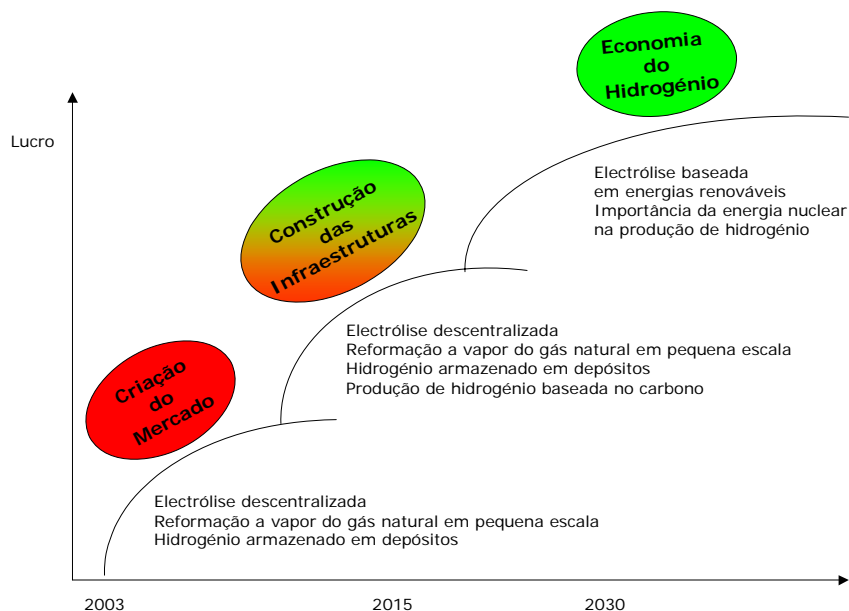
Numa perspectiva de longo prazo, o caminho para se atingir uma economia baseada no hidrogénio pode ser visto como a relação entre o ponto máximo de lucro e o horizonte em que ocorre.

Segundo a figura 5, o período entre 2003 e 2015, corresponde ao período em que se “cria o mercado” assente numa produção descentralizada de hidrogénio, a partir da reformação a vapor do gás natural em pequena escala e ou da electrólise da água e com armazenamento do hidrogénio em depósitos.

De 2015 a 2030, corresponderia ao período em que se constrói a infra-estrutura para a transição para uma economia baseada no hidrogénio, mas cuja produção ainda se baseia nos hidrocarbonetos com tecnologia CCS associada.

Para além de 2030, a economia do hidrogénio torna-se uma realidade, e a produção assenta na electrólise da água, a partir de energias renováveis e o nuclear é uma fonte de energia primária importante.

**Figura 5: O Caminho para a Economia Baseada no Hidrogénio**



Fonte: Elaborado com base em Hydro (IEA 2006).

Foram analisados vários *roadmaps* tecnológicos para o hidrogénio, designadamente, os trabalhos que estão a ser desenvolvidos na Europa (e na UE), Japão, EUA e Canadá. Nesta fase, só é possível apontar as pistas e caminhos para atingir uma economia baseada no hidrogénio, descritos nos relatórios intercalares.

### III.2.1. Europa

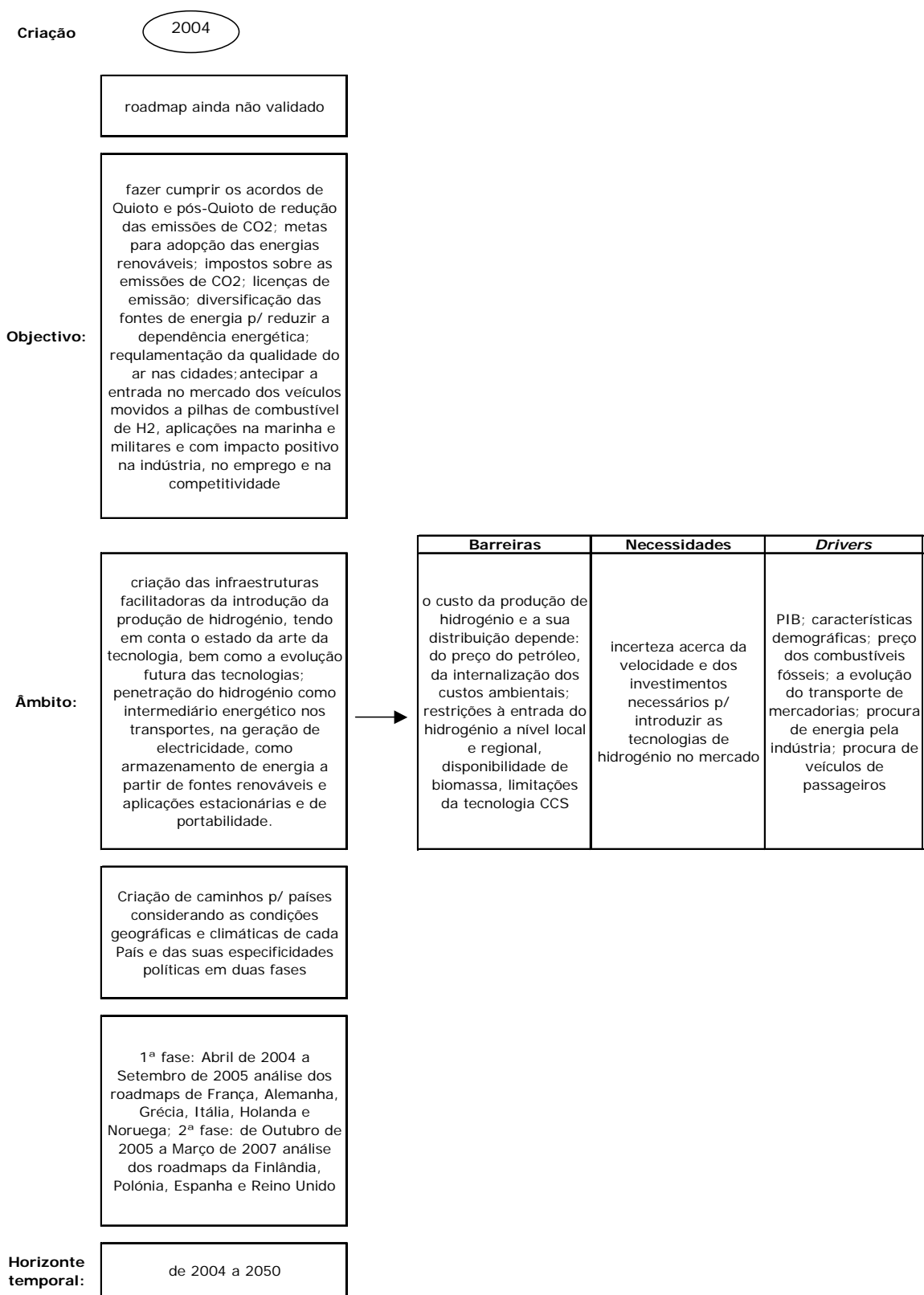
Os países europeus estão preocupados em construir um *roadmap* tecnológico para o hidrogénio, salientando-se: os trabalhos do Projecto Hyways<sup>7</sup>, que entrou na segunda fase<sup>8</sup>, e que na primeira fase fez uma sistematização das opiniões dos actores de diversos países: Alemanha, França, Grécia, Itália, Países Baixos e Noruega; os *roadmaps* tecnológicos dos Países Nórdicos e o da Dinamarca.

O **projecto Hyways** pretende construir um *roadmap* tecnológico para o hidrogénio comunitário, elaborado a partir das opiniões dos actores de diversos países europeus. A visão para o futuro do sistema energético baseado no hidrogénio poderá ser apreendida através das seguintes figuras:

<sup>7</sup> "A European Roadmap – Assumptions, Visions and Robust Conclusions from Project Phase I", (2006).

<sup>8</sup> Na segunda fase do projecto irão ser incluídos: Finlândia, Polónia, Espanha, Reino Unido.

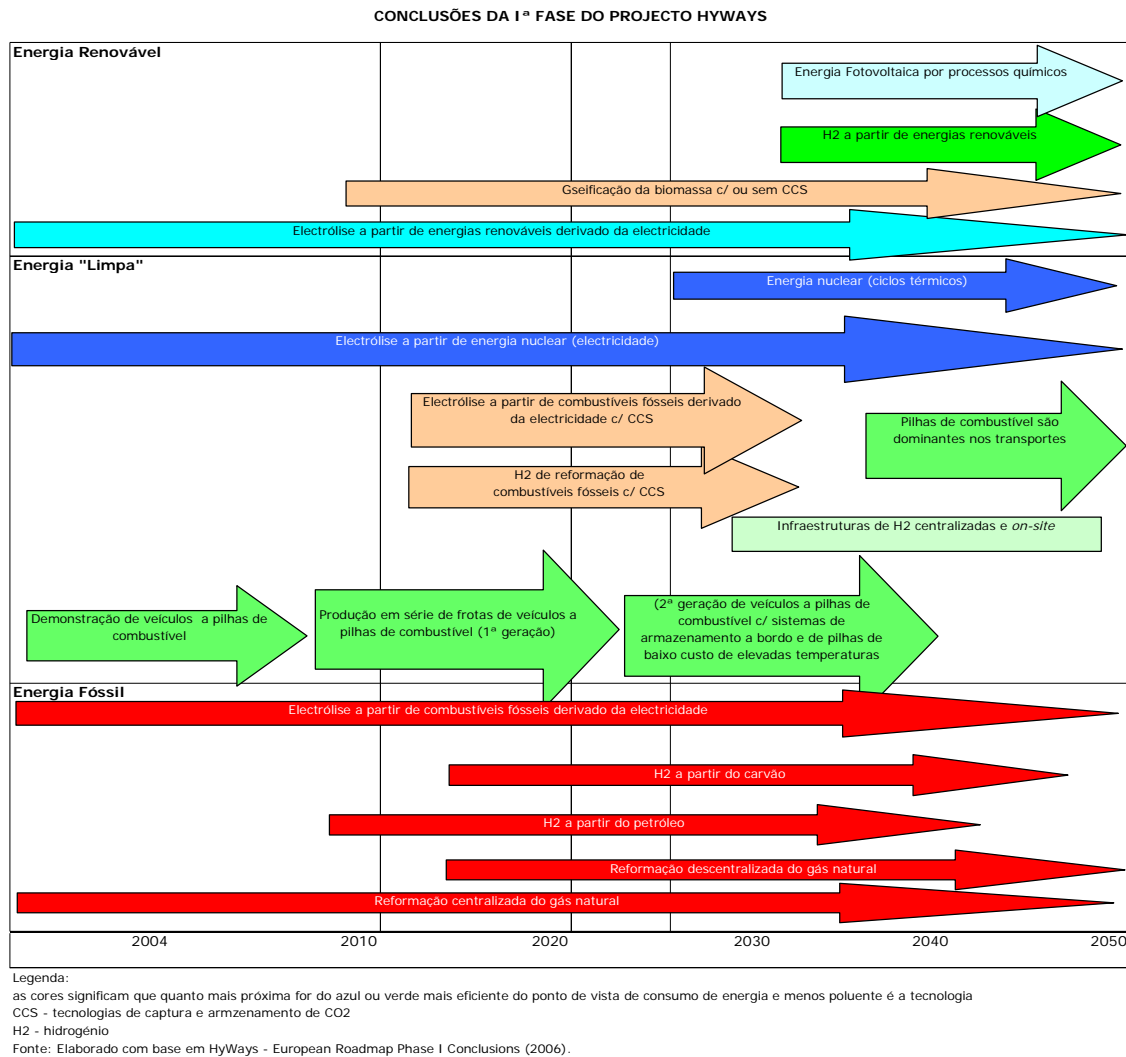
**Figura 6: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio Europeu – Hyways**



Fonte: Elaborado com base em Hyways - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

Figura 7: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways



A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

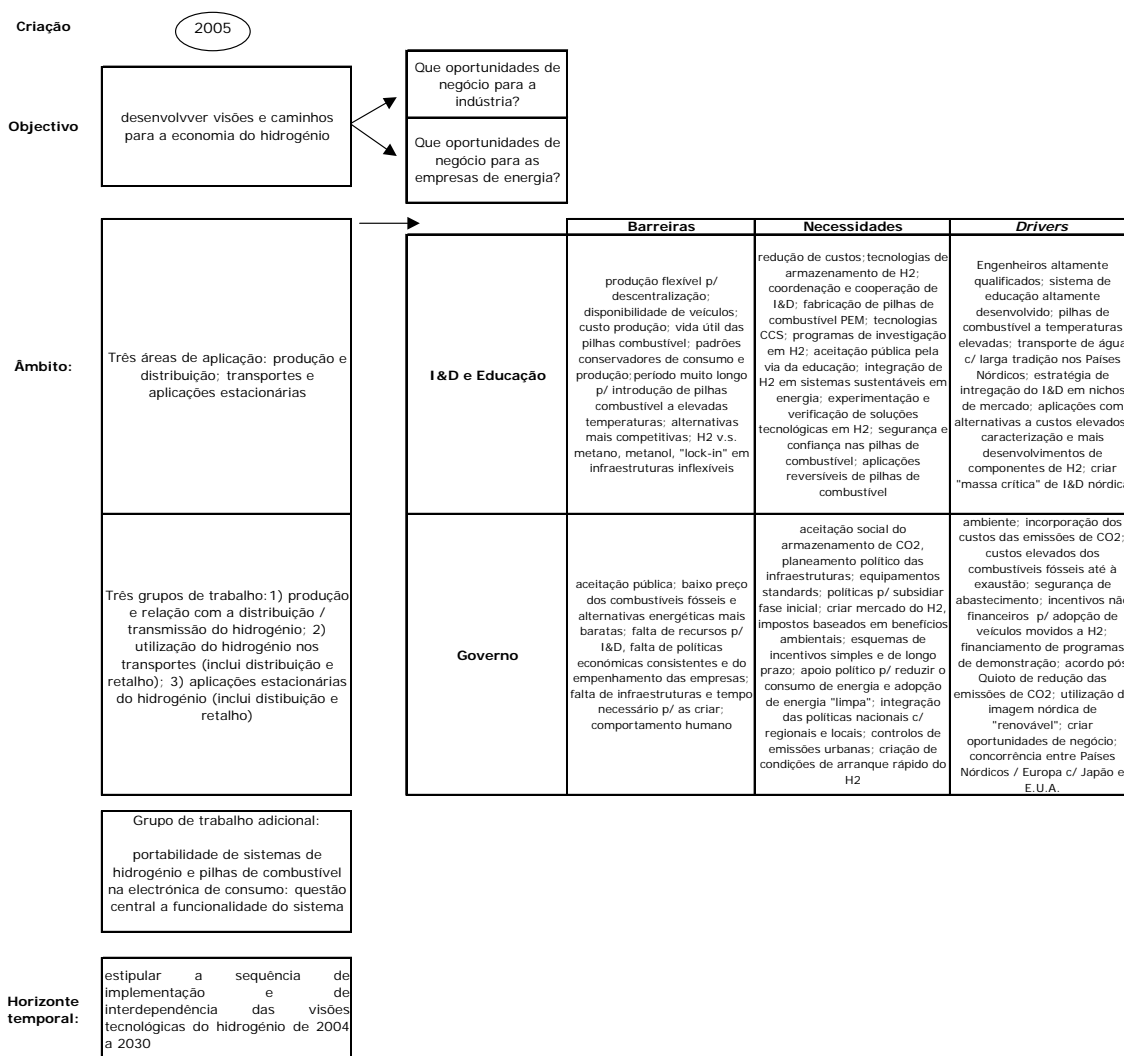
A construção do *roadmap* europeu para o hidrogénio reflecte o trinómio desenvolvimento económico, protecção ambiental e segurança energética. O caminho para atingir um novo sistema energético passa pela utilização da energia fóssil, pela expansão de tecnologias de produção de energia como a reformação, gaseificação e electrólise (primeiro centralizadas e depois descentralizadas), que terão sucessivos *up-gradings* tecnológicos, permitindo a incorporação de tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> até à adopção em massa da energia nuclear e das energias renováveis como principais fontes de energia primárias. Depois de 2030, as pilhas de combustível alimentadas a hidrogénio serão a tecnologia de conversão de energia dominante. Em termos dos países analisados<sup>9</sup>, os *roadmaps* enunciados podem-se considerar uma versão simplificada das figuras 6 e 7.

<sup>9</sup> Em anexo figuras A1 a A6.

### III.2.2. Os Países Nórdicos

Os países nórdicos elaboraram um *roadmap* para o hidrogénio em três áreas de aplicação: produção e distribuição, transporte e aplicações estacionárias. Nestas três áreas foram indicados caminhos para a tecnologia, para os equipamentos existentes no mercado e para o papel da política económica ao nível do transporte e das aplicações estacionárias de hidrogénio (figuras 8 e 9):

**Figura 8: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio – Países Nórdicos**



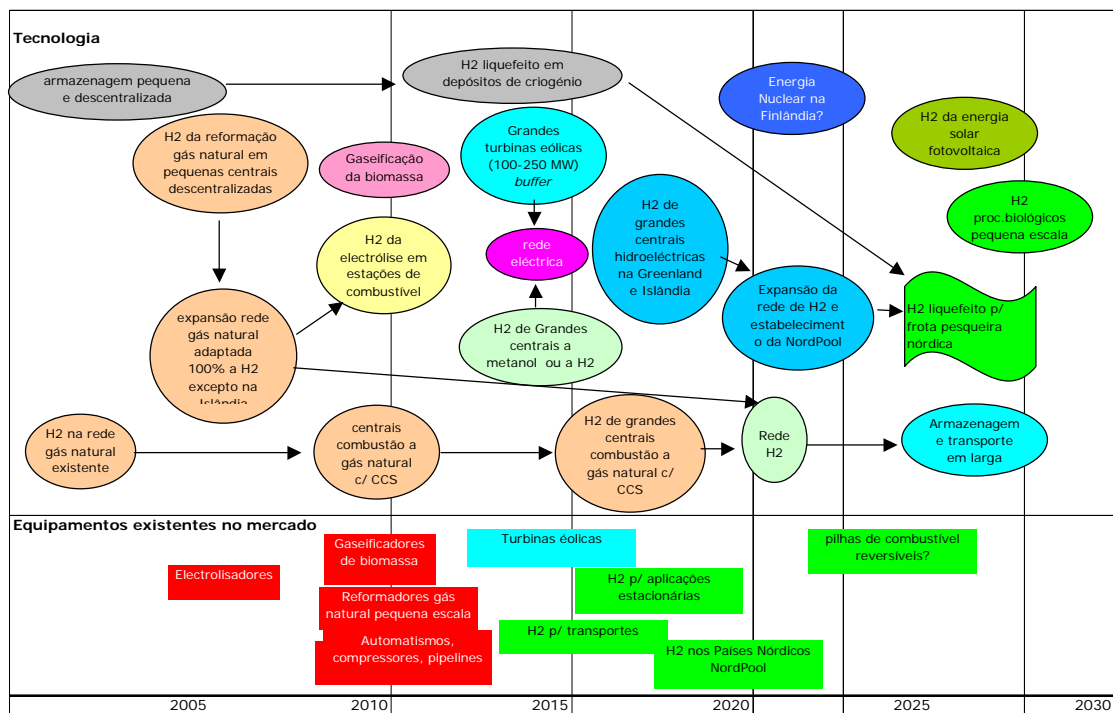
CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2  
 H2 - hidrogénio  
 CO2 - dióxido de carbono  
 Fonte: Elaborado com base em Adersen, Greve e Jørgensen, Riso National Laboratory.

Este *roadmap*, embora com mais detalhe, assenta a produção de hidrogénio no gás natural, biomassa e na energia eólica. A produção, inicialmente descentralizada, utiliza centrais de reformação a vapor do gás natural e a rede de gás natural para a distribuição do hidrogénio.

Por volta de 2015, a produção de hidrogénio passa a ser viável economicamente em grande escala e é visível a interacção da rede eléctrica com a energia eólica e o gás natural, aumentando a diversificação das fontes de energia primária que alimentam a rede eléctrica.

Depois de 2020, as energias nuclear, grandes hídricas, a solar fotovoltaica e os processos biológicos (em pequena escala), passam a ganhar relevo na estrutura das fontes primárias de energia utilizadas na produção de hidrogénio. O transporte e o armazenamento de hidrogénio fazem-se em larga escala, expande-se a rede de Hidrogénio e estabelece-se a Nordic Hydrogen Exchange (NordPool), de importação e exportação de hidrogénio entre os Países Nórdicos.

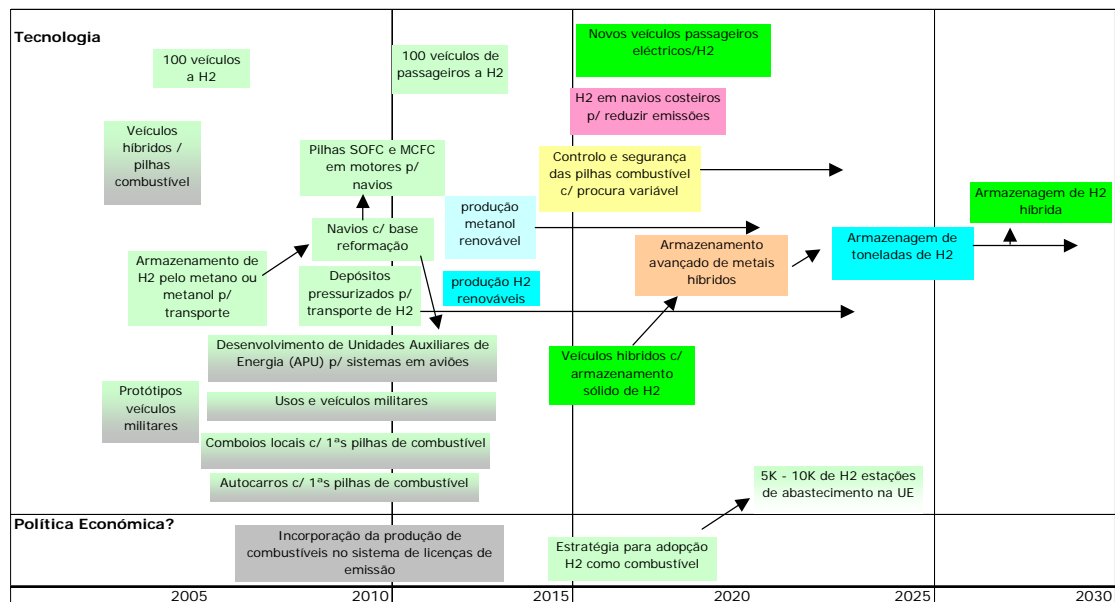
**Figura 9: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio para os Países Nórdicos – Produção e Distribuição de Hidrogénio (H<sub>2</sub>)**



Legenda:  
 As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia  
 CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>  
 NordPool - Nordic hydrogen exchange  
 Fonte: Elaborado com base em Adersen, Greve e Jørgensen, Risø National Laboratory.

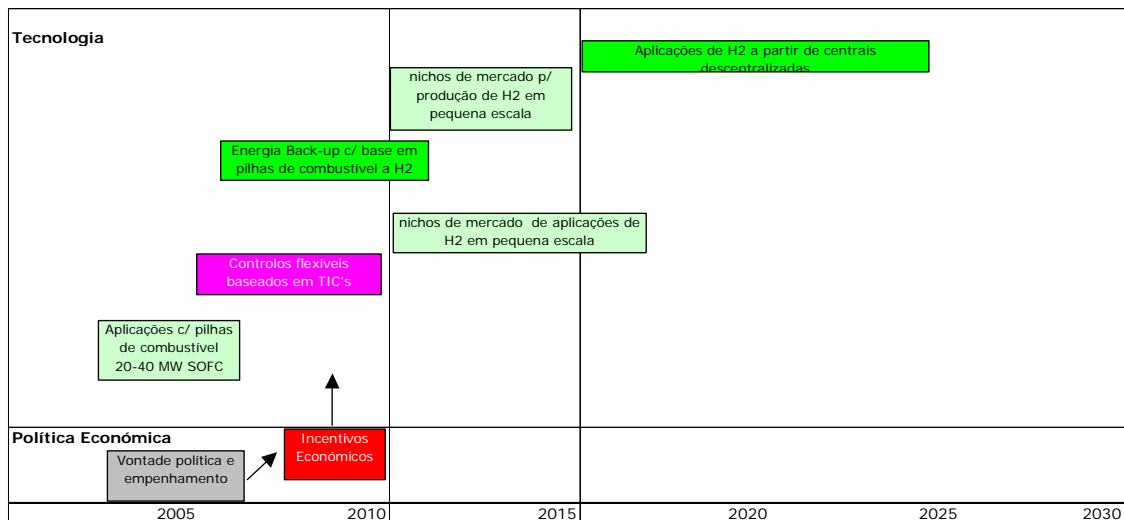


**Figura 10: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio para os Países Nórdicos – Transporte de Hidrogénio (H<sub>2</sub>)**



Legenda:  
As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia  
Fonte: Elaborado com base em Adersen, Greve e Jørgensen, Risø National Laboratory.

**Figura 11: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio para os Países Nórdicos – Aplicações Estacionárias (H<sub>2</sub>)**



Legenda:  
As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia  
Fonte: Elaborado com base em Adersen, Greve e Jørgensen, Risø National Laboratory.

Até 2010, os protótipos e as aplicações dos transportes em pequena escala difundem-se e dão lugar à comercialização dos primeiros veículos movidos a hidrogénio (comboios, autocarros, veículos militares, navios, veículos de passageiros híbridos e movidos a pilhas de

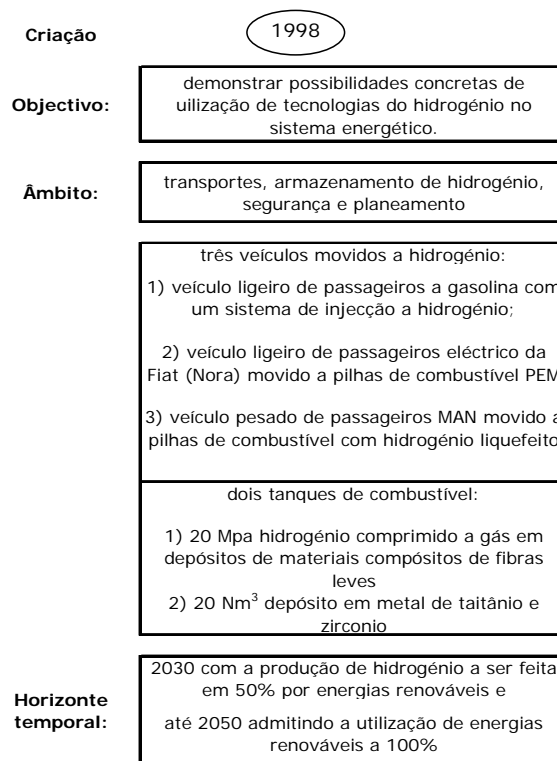
combustível). A partir de 2010 e com maiores desenvolvimentos depois de 2015, os avanços tecnológicos nas pilhas de combustível e especialmente no armazenamento do hidrogénio em grandes quantidades tornam-se uma realidade.

No que diz respeito às aplicações estacionárias de hidrogénio, até 2010, estão relacionadas com controlos flexíveis das TIC e com a energia de *back up* das pilhas de combustível, percorrendo-se depois um caminho no sentido de encontrar nichos de mercado na produção e nas aplicações de hidrogénio estacionárias e em pequena escala. Após 2015, as aplicações derivam da produção descentralizada do hidrogénio.

### III.2.3. Dinamarca

A Dinamarca, desenvolveu um *roadmap* tecnológico do hidrogénio muito particular, com uma relação estreita entre as flutuações da produção da energia eólica e a mobilidade (com transportes movidos a hidrogénio).

**Figura 12: Programa de Energia – Hidrogénio - Dinamarca**



Fonte: Elaborado com base em Bent Sørensen e Finn Sørensen, Roskilde University.

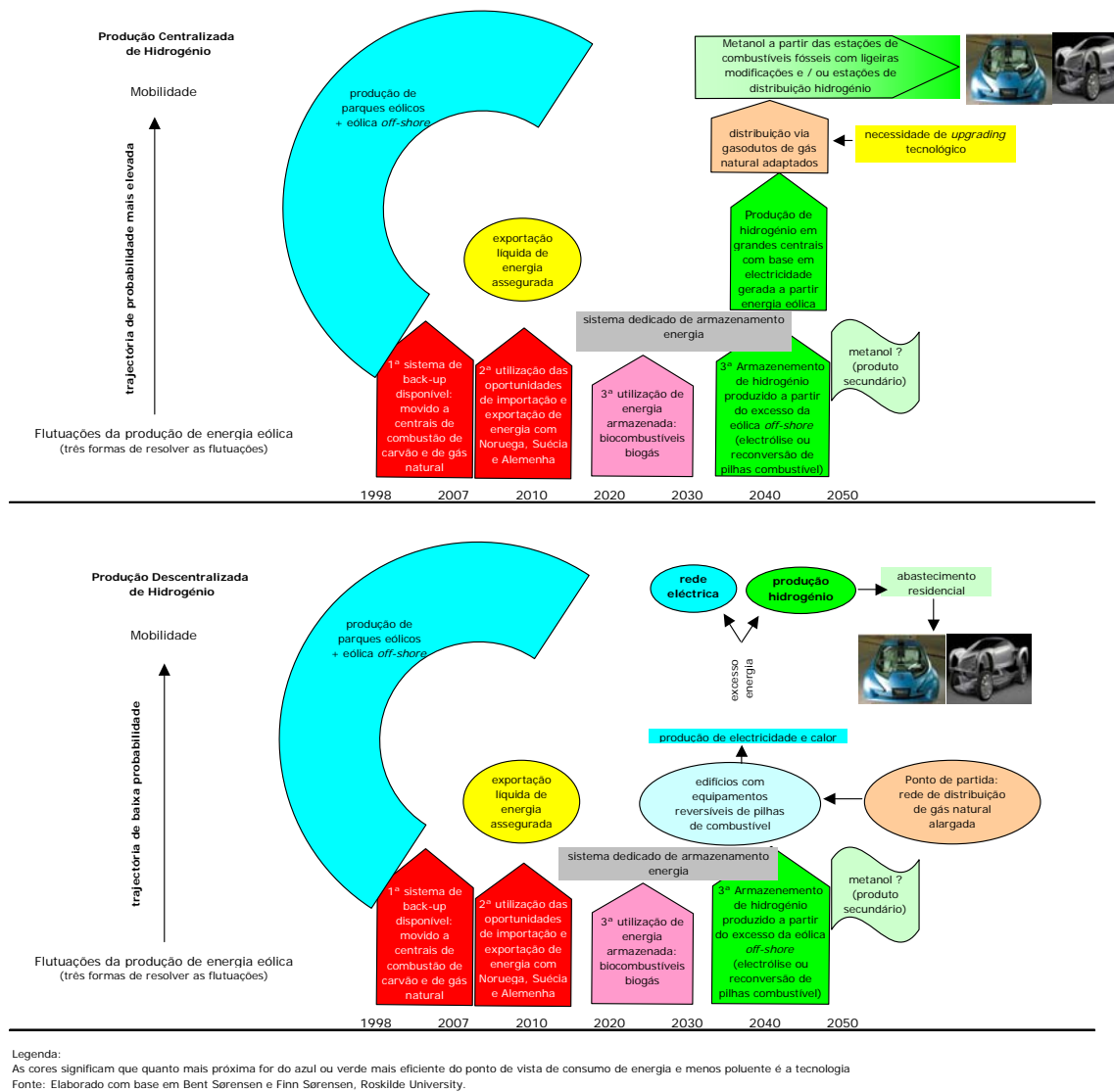
As flutuações da produção de energia eólica são resolvidas de três formas ao longo do tempo:

- 1) sistemas de back-up disponíveis movidos a centrais de carvão e de gás natural;

- 2) exportação líquida de energia assegurada através da utilização das oportunidades de importação e exportação de energia com a Noruega, Suécia e Alemanha;
- 3) um sistema dedicado de armazenamento de energia (biocombustíveis, biogás, hidrogénio e eólica *off-shore*, as duas últimas utilizadas com tecnologias de conversão de energia como a electrólise e as pilhas de combustível).

Ao longo deste caminho, a produção de hidrogénio pode ser centralizada ou descentralizada, sendo que a segunda tem uma probabilidade mais baixa de acontecer.

**Figura 13: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio – Dinamarca**



A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

Admitindo que o caminho para a economia baseada no hidrogénio é pela via da produção centralizada, em grandes centrais com base em electricidade gerada a partir de energia

eólica, seria necessário um *upgrading* tecnológico, que permitiria a distribuição do hidrogénio pela adaptação dos gasodutos de gás natural. O metanol poderia surgir como um produto secundário ou ser utilizado directamente a partir de estações de combustíveis fósseis com ligeiras modificações, coexistindo em paralelo, com as estações de distribuição de hidrogénio.

Num caminho com produção descentralizada de hidrogénio, baseado no abastecimento residencial, que se traduziria em edifícios com pilhas de combustível reversíveis, que tiveram como ponto de partida uma rede de distribuição de gás natural alargada, produziriam calor e electricidade. O excesso de energia teria duas alternativas possíveis: rede eléctrica e produção de hidrogénio. A produção de hidrogénio seria utilizada na mobilidade como combustível.

### **III.2.4. E.U.A.**

O *roadmap* tecnológico do hidrogénio norte-americano está consubstanciado na *Hydrogen Fuel Initiative*, sendo um dos pilares da Estratégia Americana para as Alterações Climáticas de 2002.

São consideradas tecnologias-chave, tanto para a protecção ambiental como para a economia baseada no hidrogénio, todas aquelas que reduzam as emissões de CO<sub>2</sub> e que utilizem as tecnologias mais limpas e o mais avançadas possível: renováveis, captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>, hidrogénio e pilhas de combustível, energia nuclear avançada, gaseificação do carvão e tecnologias que promovam a eficiência energética.

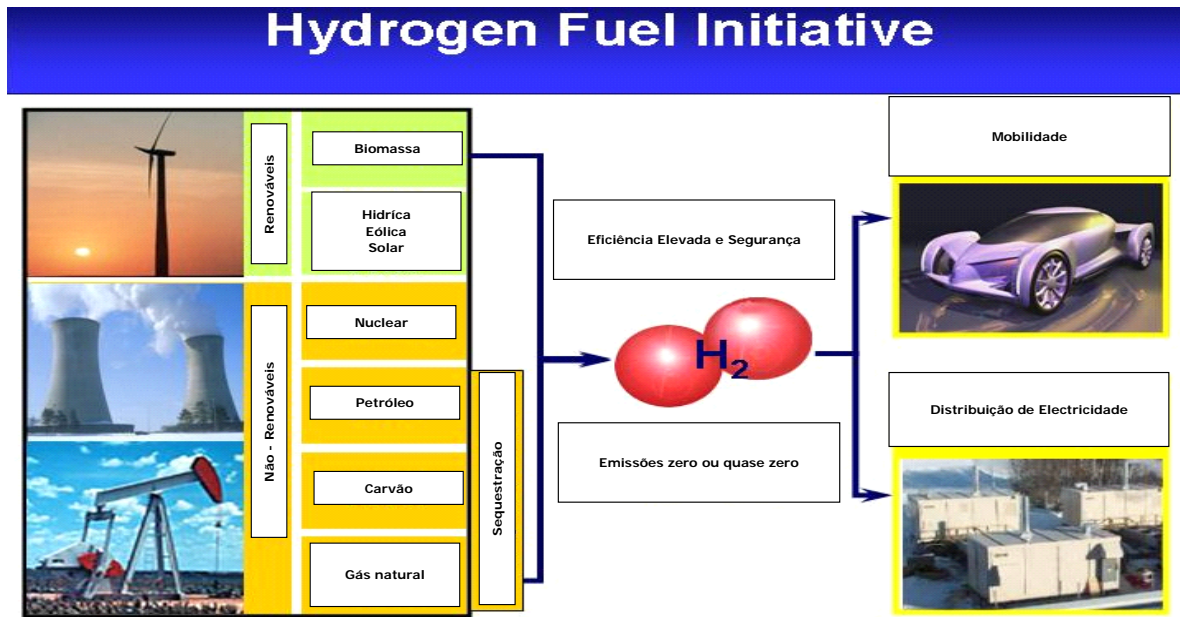
A *Hydrogen Fuel Initiative* integra tecnologias relacionadas com a produção, desenvolvimento de infra-estruturas e tecnologias de conversão (como as pilhas de combustível), quer para aplicações estacionárias, quer para a mobilidade.

Os cenários exploratórios de evolução das tecnologias<sup>10</sup>, apontam para a importância do hidrogénio e dos biocombustíveis como os intermediários energéticos dominantes no futuro.

---

<sup>10</sup> U.S. Climate Change Strategy 2002.

Figura 14: Iniciativa Hidrogénio



Fonte: Adaptado de US Climate Change Strategy (2002).

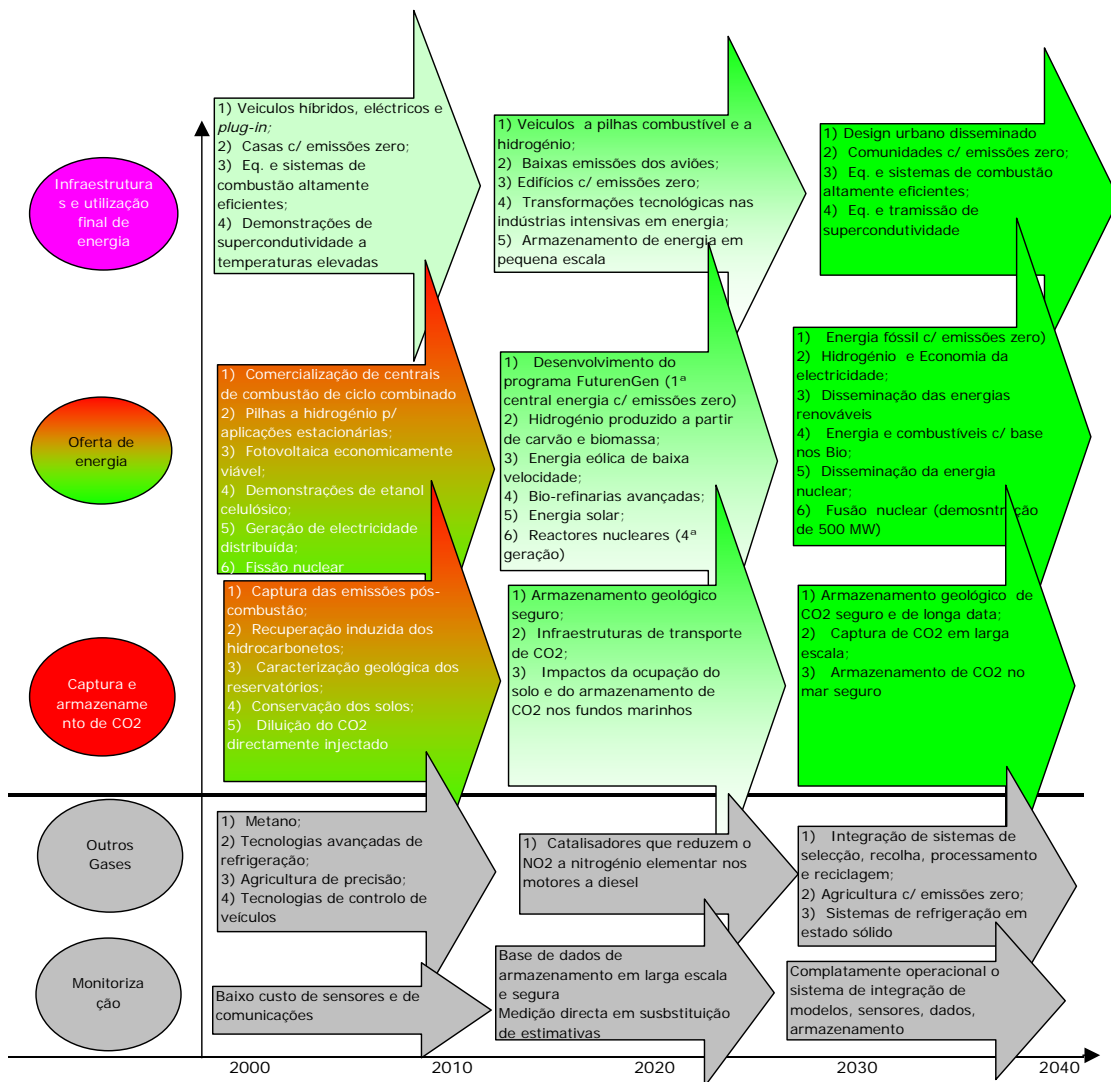
15

O *roadmap* tecnológico para o desenvolvimento sustentável integra o *roadmap* tecnológico para o hidrogénio. Este *roadmap* está estruturado em torno de cinco objectivos:

- 1) infra-estruturas e utilização final de energia;
- 2) oferta de energia;
- 3) captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>;
- 4) outros gases;
- 5) monitorização.

Nos três primeiros objectivos, é visível o "caminho americano" para atingir a economia baseada no hidrogénio:

**Figura 15: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio – E.U.A.**



Legenda:  
As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia  
Fonte: Adaptado de US Climate Change Policy An Overview (2006).

As tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> apresentam, aparentemente, um papel muito mais importante do que nos outros *roadmaps*. Simultaneamente, o *roadmap* para o hidrogénio americano assinala a evolução tecnológica quer ao nível das aplicações estacionárias, quer da mobilidade. Com uma forte base em combustíveis fósseis, o aumento da importância das fontes primárias domésticas como a biomassa e a energia nuclear apresentam sucessivos up-gradings tecnológicos.

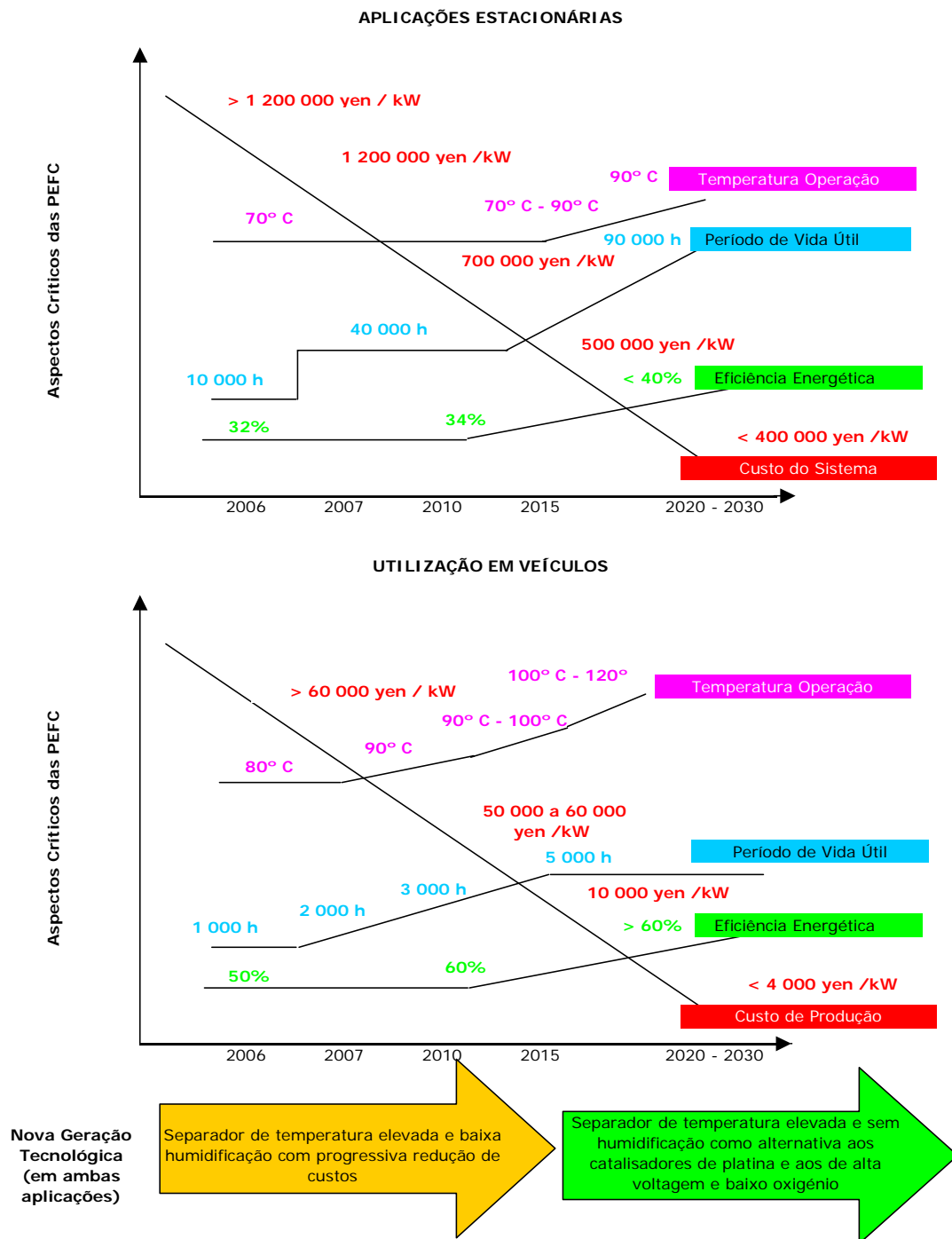
### III.2.5. Japão

O NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) desenvolveu um *roadmap* tecnológico do hidrogénio muito detalhado a partir de um conjunto de projectos

relativos às pilhas de combustível (PEFC – Polymer electrolyte fuel cell; DMFC – Direct methanol fuel cell e SOFC – Solid oxide fuel cell) e ao hidrogénio.

- 1) Os projectos foram divididos em quatro tipo de segmentos:
- 2) projectos tecnológicos de médio e curto prazo: aqueles cuja implementação serve como guia para orientar a utilização das pilhas de combustível desde a fase da investigação fundamental;
- 3) projectos tecnológicos que definam as tecnologias essenciais para o desenvolvimento e aplicação das pilhas de combustível: tanto os projectos elaborados pelo Estado, como os desenvolvidos pelas empresas privadas relativos a sistemas de *design*, processo de produção em massa de componentes da tecnologia, entre outros;
- 4) projectos tecnológicos que definam o modelo tecnológico a seguir, principalmente a serem desenvolvidos pelas empresas;
- 5) projectos tecnológicos relacionados com o modelo tecnológico implementado.
- 6) Os projectos que irão traduzir o *roadmap* tecnológico das PEFC foram desenvolvidos para aplicações estacionárias e para a mobilidade. Os aspectos críticos deste *roadmap* são a eficiência na geração da electricidade, o período de vida útil, a temperatura a que operam e os custos do sistema e de produção.

Figura 16: Roadmap Tecnológico das PEFC – Aplicações Estacionárias e Utilização em Veículos – Japão

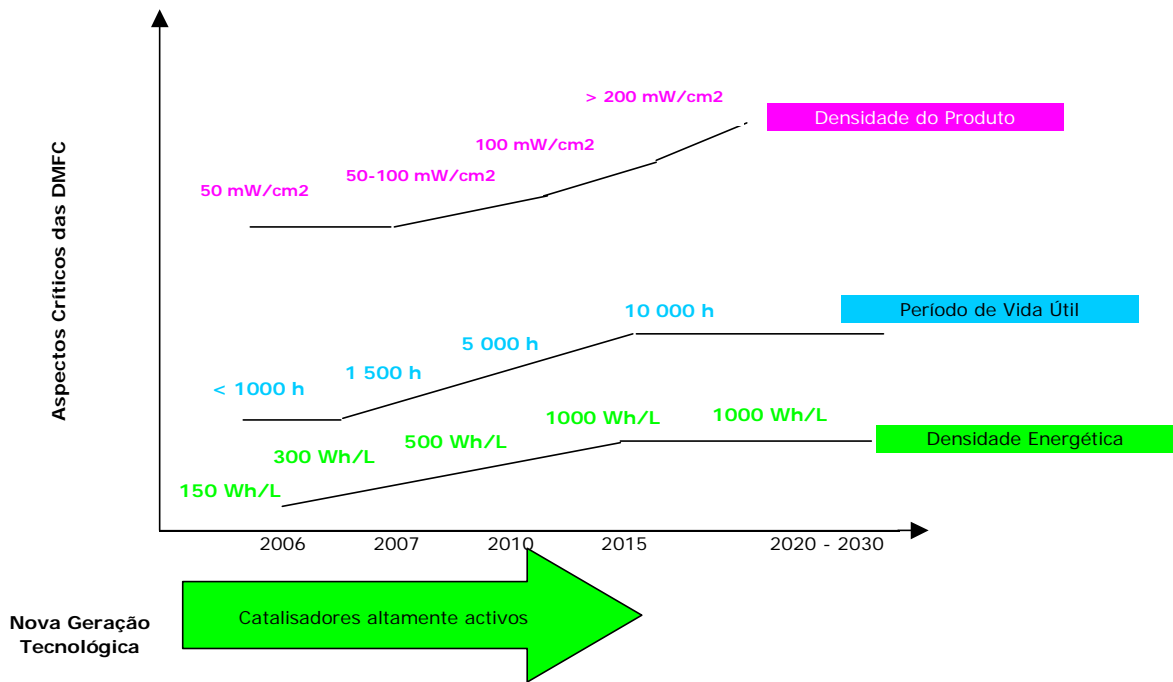


Legenda:  
 As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde, mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia  
 Fonte: Elaborado com base NEDO 2006.

O *roadmap* das DMFC foi elaborado para aplicações estacionárias e de portabilidade, apontando como aspectos-chave: a densidade energética, a densidade do produto e a período de vida útil.



Figura 17: Roadmap Tecnológico das DMFC – Portabilidade – Japão



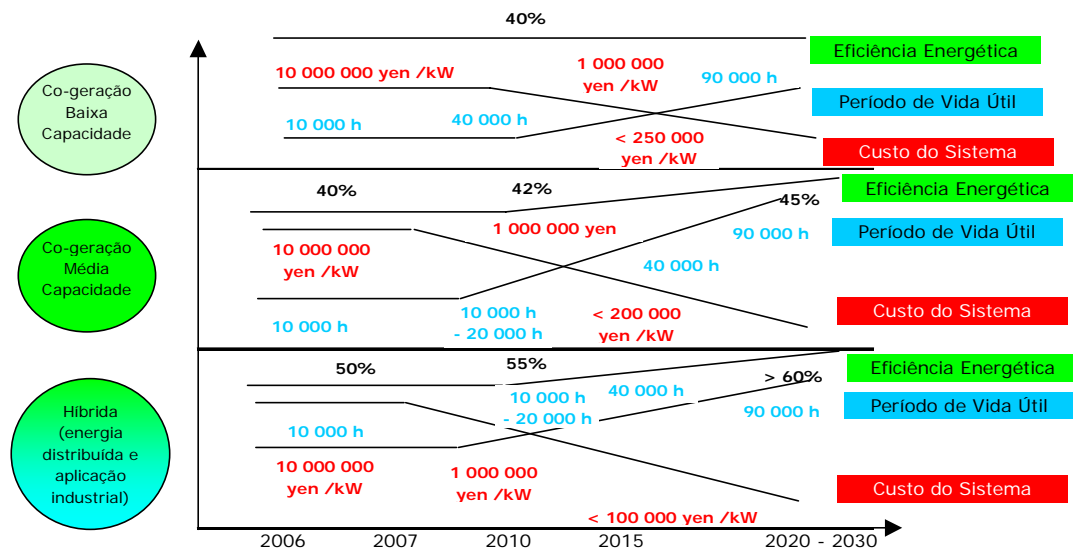
Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde, mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

Fonte: Elaborado com base NEDO 2006.

O roadmap das SOFC foi desenvolvido para aplicações estacionárias, em particular para a eficiência energética na co-geração industrial.

Figura 18: Roadmap Tecnológico das SOFC – Aplicações Estacionárias – Japão



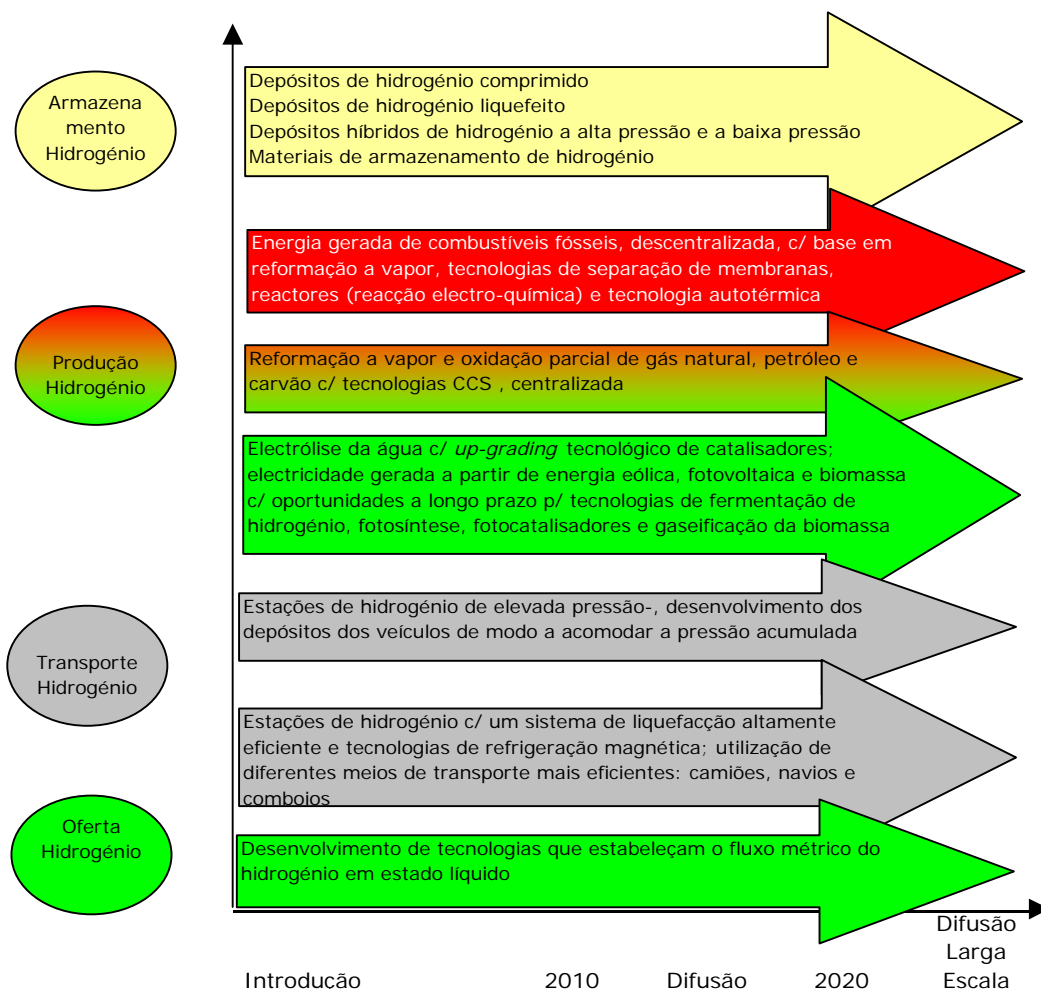
Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde, mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

Os *roadmaps* tecnológicos para as várias pilhas de combustível admitem que há uma evolução positiva, embora com ritmos diferenciados, dos aspectos chave de cada pilha, ou seja, uma diminuição progressiva do custo do sistema ou do custo de produção, uma melhoria da eficiência energética e um aumento do número de horas das pilhas, traduzindo um maior período de vida útil.

O *roadmap* do hidrogénio teve em consideração as seguintes vertentes: o armazenamento do hidrogénio, a produção, o transporte e a oferta. Este *roadmap* especificou, tal como os das pilhas de combustível, com um detalhe enorme todas as especificações técnicas envolvidas como: os tipos de materiais utilizados em cada um dos pontos da cadeia energética, a temperatura a que operam os materiais, a densidade, a capacidade, as dimensões, o peso, a pressão, o tipo de tecnologia de produção e de conversão (em especial as especificações exactas das pilhas de combustível), as tarefas e os desafios tecnológicos que se colocam a médio e longo prazo (figura 19).

Figura 19: Roadmap Tecnológico do Hidrogénio – Japão



Fonte: Elaborado com base NEDO 2006.

Tal como é visível em outros *roadmaps*, a produção de hidrogénio no Japão pode ter três tipos de origens: uma mais poluente com base nos combustíveis fósseis, outra menos poluente onde se introduz as tecnologias CCS e uma terceira baseada nas energias renováveis e que, provavelmente, poderá ter uma introdução mais tardia (apesar de isso não ser tão visível na figura).

### III.2.6. Canadá

O Canadá ainda não definiu um *roadmap* tecnológico para o hidrogénio, apresentando um Plano de Acção<sup>11</sup> onde estabelece o caminho a privilegiar para atingir uma economia baseada no hidrogénio. Contudo, é dos países que à mais tempo se preocupa com o desenvolvimento do hidrogénio como intermediário energético. O Plano de Acção contém seis objectivos distintos:

<sup>11</sup> "Hydrogen Systems" - Canadian Hydrogen Association (2004).

- 1) estabelecimento de um objectivo para as reduções das emissões de CO<sub>2</sub>;
- 2) transformar o sistema energético canadiano;
- 3) desenvolvimento da produção de hidrogénio, baseada, no médio prazo, nos combustíveis fósseis com tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> e, no longo prazo, na electricidade. Devido aos riscos envolvidos na construção de infra-estruturas vocacionadas para o hidrogénio, deverão surgir, no médio prazo, aplicações industriais utilizando produção descentralizada de hidrogénio em pequena escala. O desenvolvimento da produção de hidrogénio deverá basear-se na distribuição geográfica das fontes de energia primária, envolvendo um *mix* de energia nuclear, hidroelectricidade, energia eólica, biomassa e combustíveis fósseis. A distribuição será feita por via de *pipelines*;
- 4) desenvolvimento dos sistemas de armazenamento e distribuição de hidrogénio, baseados numa produção descentralizada;
- 5) transporte e tecnologias de conversão, salientando-se a transição para veículos movidos a pilhas de combustível, ou com motores de combustão interna que utilizam hidrogénio, veículos híbridos e as “estações de energia” (combinação de geração, distribuição e abastecimento de electricidade);
- 6) desenvolvimento dos mercados de hidrogénio: incentivos; adaptação às necessidades dos consumidores e exportação de hidrogénio.

### III.3. As Diferenças e os Pontos Comuns

Todos os *roadmaps* tecnológicos para o hidrogénio apresentados reflectem o processo de difusão da inovação, no sentido em que, começam com a produção de hidrogénio em pequena escala (centralizada ou descentralizada), desenvolvem até à maturidade o estado da arte da tecnologia e depois dão o salto qualitativo para a introdução de tecnologias energéticas que obedecem ao trinómio: desenvolvimento económico, eficiência energética e protecção ambiental.

Nos quadros 2 e 3 são apresentados, comparativamente, os principais aspectos distintos de cada *roadmap* tecnológico:

- ◆ por um lado, um quadro com o horizonte temporal de cada *roadmap*, o tipo de aplicações desenvolvidas (estacionárias ou de mobilidade), as fontes de energia primárias utilizadas inicialmente e as tecnologias-chave;
- ◆ por outro lado, um quadro exemplificativo das cadeias energéticas desenvolvidas em cada *roadmap*, desde da fonte de energia primária, passando pelas tecnologias utilizadas na produção de hidrogénio, armazenamento e distribuição, tecnologias de conversão e as aplicações (destacando naqueles *roadmaps* quando a contribuição da rede eléctrica é extremamente relevante).

**Quadro 2: Roadmaps Tecnológicos do Hidrogénio – Uma Comparação**

PROJECTOS / PAÍSES	HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE APLICAÇÃO		FONTE ENERGIA PRIMÁRIA INICIAL	TECNOLOGIAS - CHAVE
		ESTACIONÁRIA	MOBILIDADE		
HyWays	2004-2050	✓	✓	petróleo, gás natural, carvão	Electrólise da água; Pilhas combustíveis; Reformação a vapor; Gaseificação; Turbinas eólicas; Ciclos térmicos (energia nuclear); CCS
Alemanha	2004-2050	✓	✓	gás natural, carvão, biomassa	Electrólise da água; H2 em motores combustão interna; Reformação a vapor; Gaseificação; CCS
França	2004-2050	✓	✓	gás natural	Electrólise da água; Reformação a vapor; Nuclear (elevadas temperaturas); CCS
Grécia	2004-2050	✓	✓	gás natural, eólica, biomassa	Electrólise da água; Reformação a vapor; CCS; Turbinas eólicas
Países Baixos	2004-2050	✓	✓	gás natural	Reformação a vapor; Gaseificação e Turbinas eólicas
Itália	2004-2050	✓	✓	gás natural, carvão, biomassa, eólica, resíduos urbanos	Reformação a vapor; Gaseificação e Turbinas eólicas
Noruega	2004-2050	✓	✓	gás natural	Reformação a vapor; Electrólise da água
Países Nórdicos	2005-2030	✓	✓	gás natural	Electrólise da água; Pilhas combustíveis; Reformação a vapor; Gaseificação; Turbinas eólicas; CCS
Dinamarca	1998-2050		✓	gás natural, eólica	Electrólise da água; Pilhas combustíveis; Turbinas eólicas
EUA	2000-2040	✓	✓	petróleo, gás natural, carvão, biomassa, nuclear, fotovoltaica, eólica	Centrais de combustão de ciclo combinado; CCS; Fissão e fusão nuclear; Supercondutividade; Turbinas eólicas; Bio-refinarias; Tecnologias avançadas de refrigeração
Japão	2006-2030	✓	✓	gás natural, petróleo, carvão, eólica, nuclear	Reformação a vapor; Electrólise da água; Gaseificação; Fotosíntese; Fermentação hidrogénio; Fotocatalisadores; Turbinas eólicas
Canadá	?	✓	✓	gás natural, petróleo, carvão, eólica, biomassa, hidroelectricidade, nuclear, xistos betuminosos, petróleo pesado	Electrólise da água; Gaseificação; Turbinas eólicas; Pirólise, Processo electroquímico; CCS; Processos biológicos

Legenda: CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2 H2 - hidrogénio  
 Fonte: Elaborado com base nos vários roadmaps analisados.




A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

**Quadro 3: Cadeias Energéticas – Uma Comparação**

PROJECTOS / PAÍSES	FONTE DE ENERGIA PRIMÁRIA	TECNOLOGIAS PRODUÇÃO	DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAMENTO	TECNOLOGIAS CONVERSÃO	APLICAÇÕES
HyWays	Fósseis	Reformação a vapor c/ CCS (de 2004 centralizada; + 2015 descentralizada)	Infraestruturas de H2	Pilhas combustivel (1ª e 2ª gerações)	Mobilidade; Electricidade 
	Renováveis / Nuclear	Electrólise da água; Gaseificação c/ s/ CCS; Processos químicos; Ciclos térmicos			
Alemanha	Gás natural; Carvão	Reformação a vapor c/ CCS (2010 descentralizada; +2020 centralizada e descentralizada); Gaseificação	H2 liquefeito em <i>pipelines</i> ; H2 gasoso em camiões; novos sistemas de armazenagem H2	Pilhas combustivel; Motores combustão interna	Mobilidade; Electricidade; Indústria
	Eólica <i>on-shore</i> / <i>off-shore</i> ; Biomassa / Nuclear (?)	Electrólise da água; Gaseificação c/ s/ CCS; Processos químicos; Ciclos térmicos; Turbinas eólicas (on-shore e off-shore)			
França	Gás natural	Electrólise da água descentralizada (2010-2020); Reformação a vapor (2010 descentralizada; + 2020 centralizada e descentralizada)	Utilização gasodutos de gás natural; H2 liquefeito em <i>pipelines</i> ; H2 gasoso em camiões	não especificado	Mobilidade; Electricidade; Indústria; Edifícios 
	Renováveis(?) / Nuclear	Electrólise da água descentralizada; Reactores nucleares (elevadas temperaturas)			
Grécia	Gás natural	Reformação a vapor c/ CCS (2010 centralizada; + 2025 descentralizada e centralizada)	Utilização mista de gasodutos de gás natural e H2	não especificado	Mobilidade; Electricidade; Indústria; Edifícios; Aplicações estacionárias e Serviços 
	Eólica; Biomassa	Electrólise da água descentralizada (2010); Turbinas eólicas			
Países Baixos	Gás natural; Carvão	Reformação a vapor descentralizada; Gaseificação centralizada c/ CCS (+2030)	Camiões H2 até 2030; <i>Pipelines</i> ; Utilização mista de gasodutos de gás natural e H2	não especificado	Electricidade; Mobilidade; Indústria 
	Eólica <i>on-shore</i> / <i>off-shore</i> ; Biomassa	Electrólise da água centralizada; Turbinas eólicas; Gaseificação centralizada c/ CCS (+2030)			

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

(Continuação)

Itália	Gás natural	Reformação a vapor c/ CCS ( 2010 descentralizada; + 2030 descentralizada)	H2 gasoso em camiões; Utilização mista de gasodutos de gás natural e H2	não especificado	Electricidade; Mobilidade; Indústria; Edifícios
	Eólica; Biomassa	Gaseificação centralizada (+ 2010)			
Noruega	Gás natural	Reformação a vapor c/ CCS ( + 2010 descentralizada)	<i>pipelines</i> (regiões densamente povoadas) e camiões H2 gasoso (regiões pouco povoadas)	não especificado	Mobilidade; Electricidade e aplicações estacionárias em pequena escala 
	Eólica, Marés e Biomassa	Electrólise da água c/ CCS (+ 2010 descentralizada); Turbinas eólicas			
Países Nórdicos	Gás natural	Reformação a vapor descentralizada (até 2015) e centralizada	Utilização mista de gasodutos de gás natural e H2; Rede de H2; Rede NordPool; Depósitos de criogénio (H2 liquefeito)	Pilhas combustivel (várias gerações); Motores hidridos; Portabilidade de sistemas H2; Equipamentos reversíveis	Mobilidade; Aplicações estacionárias (nichos de mercado); Portabilidade 
	Eólica; Biomassa; solar fotovoltaica; nuclear	Electrólise da água descentralizada (até 2015); Gaseificação (+ 2010); Grandes turbinas eólicas (+2015); Grandes centrais hidroeléctricas (+ 2015); Processos biológicos pequena escala (+ 2025 descentralizada)			
Dinamarca	Carvão; Gás natural	Reformação a vapor (?) descentralizada	Utilização mista de gasodutos de gás natural e H2; Sistema dedicado de armazenamento H2	Electrólise da água; Pilhas combustivel; Equipamentos reversíveis	Mobilidade; Edifícios 
	Eólica <i>on-shore / off-shore</i>	Produção centralizada c/ base electricidade (Turbinas eólicas); descentralizada c/ base em edifícios c/ pilhas combustivel reversíveis (baixa probabilidade)			

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

(Continuação)

EUA	petróleo, gás natural, carvão,	Centrais de combustão de ciclo combinado; CCS;	Armazenamento energia em pequena escala; Armazenamento geológico, em reservatórios e no fundo do mar; Transporte de H2 liquefeito, gasoso e armazenamento em estado sólido	Pilhas combustível; Veículos Híbridos; Veículos eléctricos; Tecnologias de controlo de veículos; Centrais de combustão	Mobilidade; Portabilidade; Aplicações estacionárias 
	biomassa, nuclear, fotovoltaica, eólica	Fissão e fusão nuclear; Supercondutividade; Turbinas eólicas; Bio-refinarias; Tecnologias avançadas de refrigeração			
Japão	Gás natural; Petróleo; Carvão	Reformação a vapor descentralizada e centralizada; Oxidação parcial	H2 gasoso em camiões e liquefeito	Pilhas de combustível (PEFC; DMFC; SOFC)	Mobilidade; Portabilidade; Aplicações estacionárias 
	Eólica; Fotovoltaica; Biomassa; Nuclear	Electrólise da água; Gaseificação; Fotosíntese; Fermentação hidrogénio; Fotocatalisadores; Ciclos térmicos; Turbinas eólicas			
Canadá	Gás natural; Petróleo; Carvão; Xistos betuminosos; Petróleo pesado	Produção descentralizada; Gaseificação; CCS	H2 em <i>pipeline</i> ; comboios (H2 liquefeito); armazenamento em depósitos de criogénio	Pilhas de combustível; Veículos híbridos; Motores combustão interna; Estações de energia (combinação de geração electricidade, distribuição e abastecimento)	Mobilidade; Portabilidade; Aplicações estacionárias 
	Eólica; Hidroelectricidade; Biomassa; Nuclear	Produção descentralizada; Electrólise da água; Processo electroquímico; Turbinas eólicas; Gaseificação; Pirólise; Reformação; Processos biológicos			

Legenda: CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2 H2 - hidrogénio  
 Fonte: Elaborado com base nos vários roadmaps analisados.

Como principais **aspectos comuns** apontam-se:

- ◆ sensivelmente o mesmo horizonte temporal, desde do início do século XXI até 2050;
- ◆ a fonte de energia primária inicial é por excelência o gás natural;
- ◆ preocupações generalizadas com aplicações estacionárias e com a mobilidade;
- ◆ as tecnologias – chave mais referidas são a electrólise da água, a reformação a vapor e a gaseificação;
- ◆ a integração da rede eléctrica na produção de hidrogénio é o núcleo duro da economia baseada no hidrogénio;
- ◆ as pilhas de combustível, os motores de combustão interna e os motores híbridos são as tecnologias de conversão de energia mais comuns;



- ◆ as energias renováveis com maiores potenciais de utilização na produção de hidrogénio são a energia eólica e a biomassa.

As principais **diferenças** podem ser sistematizadas nos seguintes pontos:

- ◆ os *roadmaps* tecnológicos reflectem a disponibilidade das fontes de energia primária, sejam domésticas, sejam pela importação, daí alguns *roadmaps* apresentarem uma diversificação maior do que outros;
- ◆ importância distinta dada à transição para a economia baseada no hidrogénio: o Canadá, EUA e Dinamarca são os países onde as preocupações com a economia baseada no hidrogénio são mais antigas, mas bastante diferenciadas entre si;
- ◆ a Dinamarca é aquele que apresenta o *roadmap* para o hidrogénio mais específico, com uma forte concentração de fontes de energia primária e uma cadeia energética muito vincada na reformação a vapor, nas turbinas eólicas, na electrólise da água e nas pilhas de combustível;
- ◆ o Canadá, apresenta a maior diversidade de fontes de energia primária, salientando-se os combustíveis fósseis não convencionais e a introdução do conceito “estações de energia”, que resulta da combinação descentralizada de estações simultâneas de geração, distribuição e abastecimento de electricidade;
- ◆ nos EUA, com uma apreciável diversificação de fontes de energia primária, salienta-se a importância dos combustíveis fósseis “limpos” pela aplicação das tecnologias CCS e de tecnologias relacionadas com a supercondutividade;
- ◆ o Japão é o que apresenta o *roadmap* do hidrogénio mais detalhado especialmente ao nível das pilhas de combustível, quantificado, e com uma grande variedade de tecnologias de produção. Neste *roadmap*, a energia nuclear será, provavelmente, uma das fontes primárias de energia mais importantes num horizonte de 2030;
- ◆ nos Países Nórdicos, onde se atribui uma importância significativa às energias renováveis, saliente-se o estabelecimento de uma rede de importação e exportação de hidrogénio (NordPool);
- ◆ o Projecto HyWays que procura reunir um consenso comunitário ao nível do que será uma economia europeia baseada no hidrogénio europeia. Provavelmente é o *roadmap* que estará numa fase mais embrionária, sendo visível iniciativas nacionais incluindo Portugal<sup>12</sup>, para tentar construir cadeias energéticas do hidrogénio.

---

<sup>12</sup> Encontra-se em curso, em Portugal, o projecto EDEN, desenvolvido por actores nacionais e que procura definir o *roadmap* para hidrogénio português, com conclusão prevista para Maio de 2008.

#### IV. CONCLUSÃO

A economia baseada no hidrogénio tem uma probabilidade elevada de se vir a concretizar. O desenvolvimento das tecnologias energéticas é crucial na definição do novo sistema energético. Nos próximos 50 anos as novas tecnologias energéticas colocam desafios importantes ao sistema baseado nos combustíveis fósseis e à electricidade como principal intermediário. Torna-se crítica a introdução e desenvolvimento de opções tecnológicas como a captura e armazenamento das emissões de CO<sub>2</sub>, a produção, distribuição e armazenamento de hidrogénio, sistemas de distribuição de electricidade diversificados e biunívocos e tecnologias de utilização final com baixa utilização de energia e baixíssimas emissões de CO<sub>2</sub>.

A par da energia, a variável ambiente passará a fazer parte da agenda política, sendo uma hipótese considerada nos vários cenários. Dos cenários propostos pela Comissão Europeia (WETO – H2) e pela OCDE (TECH), conclui-se que:

- ◆ os preços do petróleo subiriam; o carvão seria a fonte de energia primária mais importante para alimentar o crescimento sustentado da energia eléctrica; as tecnologias de captura e armazenamento das emissões de CO<sub>2</sub> não seriam suficientes, apesar da diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, pois  $\frac{3}{4}$  da produção de energia teria origem nos hidrocarbonetos;
- ◆ ao nível do consumo de energia, os resultados apresentados pelos cenários serão contraditórios: para o WETO – H2, o consumo final de energia cresceria a um ritmo inferior ao do produto, o que pressuporia um aumento da eficiência energética; para o TECH, o consumo final de energia aumentaria em virtude de um aumento da produção de combustíveis sintéticos, intensivos em energia.

Um *Roadmap* Tecnológico (*Technology Roadmap*), é um dos tipos de *roadmaps* possíveis e que pode ter várias aplicações. Considerado como uma das características indispensáveis a uma Plataforma Tecnológica, é um instrumento importantíssimo para descrever toda a acção levada a cabo numa plataforma. Um *roadmap* surge como um guia de orientação da aplicação de investigação e desenvolvimento (I&D). Deste modo, o *roadmap* tecnológico pode ser visto como uma importante ferramenta da prospectiva, pois providencia uma geração de futuras opções.

O hidrogénio é o elemento mais comum no universo, mas ao nível do planeta Terra só existe em combinação com outros elementos. O hidrogénio como um intermediário (*carrier*) de energia, quer na distribuição de electricidade, quer como combustível para os transportes, é uma ambição muito forte das economias desenvolvidas. Entre as principais vantagens de uma economia baseada no hidrogénio incluem-se: elevada eficiência, produção de energia descentralizada, segurança de abastecimento, emissões de CO<sub>2</sub> reduzidas, operações de confiança e sem ruído, eficiência energética, múltiplas utilizações como a oportunidade para

o desenvolvimento de veículos híbridos, através da utilização de pilhas de combustível (alimentadas a hidrogénio).

A transição para uma economia baseada no hidrogénio enfrenta problemas de natureza diversa: técnica, económico-social, produção, distribuição e infra-estrutura de armazenamento, conversão e utilização final, salientando-se os enormes desafios tecnológicos e os investimentos maciços para criar capacidade e infra-estruturas para produzir e distribuir hidrogénio.

Uma economia baseada no hidrogénio é visível por uma produção de hidrogénio baseada numa diversidade de fontes de energia primária, especialmente assente em energias renováveis e na rede eléctrica; uma utilização de várias tecnologias e processos de produção de hidrogénio, com múltiplas aplicações.

O elemento crucial da economia baseada no hidrogénio é a conversão do hidrogénio em electricidade e armazenado numa pilha de combustível (*fuel cell*). Existem vários tipos de aplicações de pilhas de combustível (classificadas de acordo com o electrólito que utilizam), quer na mobilidade e portabilidade, quer em aplicações estacionárias e até mesmo em motores de combustão interna.

A comparação de vários *roadmaps* para o hidrogénio, permitiu concluir que existem aspectos comuns: sensivelmente o mesmo horizonte temporal, desde do início do século XXI até 2050; a fonte de energia primária inicial é por excelência o gás natural; preocupações generalizadas com aplicações estacionárias e com a mobilidade; as tecnologias-chave mais referidas são a electrólise da água, a reformação a vapor e a gaseificação; a integração da rede eléctrica na produção de hidrogénio é o núcleo duro da economia baseada no hidrogénio; as pilhas de combustível, os motores de combustão interna e os motores híbridos são as tecnologias de conversão de energia mais comuns; as energias renováveis com maiores potenciais de utilização na produção de hidrogénio são a energia eólica e a biomassa.

As principais diferenças dos *roadmaps* para o hidrogénio encontram-se ao nível:

- 1) os *roadmaps* tecnológicos reflectem a disponibilidade das fontes de energia primária, sejam domésticas, sejam pela importação, daí alguns *roadmaps* apresentarem uma diversificação maior do que outros;
- 2) importância distinta dada à transição para a economia baseada no hidrogénio: o Canadá, EUA e Dinamarca são os países onde as preocupações com a economia baseada no hidrogénio são mais antigas mas bastante diferenciadas entre si;
- 3) a Dinamarca é aquele que apresenta o *roadmap* para o hidrogénio mais específico, com uma forte concentração de fontes de energia primária e uma cadeia energética

muito vincada na reformação a vapor, nas turbinas eólicas, na electrólise da água e nas pilhas de combustível;

- 4) o Canadá, apresenta a maior diversidade de fontes de energia primária, salientando-se os combustíveis fósseis não convencionais e a introdução do conceito “estações de energia”;
- 5) nos EUA, com uma apreciável diversificação de fontes de energia primária, salienta-se a importância dos combustíveis fósseis “limpos” pela aplicação das tecnologias CCS e de tecnologias relacionadas com a supercondutividade;
- 6) o Japão é o que apresenta o *roadmap* do hidrogénio mais detalhado especialmente ao nível das pilhas de combustível, quantificado, e com uma grande variedade de tecnologias de produção (neste *roadmap*, a energia nuclear será, provavelmente, uma das fontes primárias de energia mais importantes num horizonte de 2030);
- 7) os Países Nórdicos, onde se atribui uma importância significativa às energias renováveis, saliente-se o estabelecimento de uma rede de importação e exportação de hidrogénio (NordPool);
- 8) o Projecto HyWays que procura reunir um consenso comunitário ao nível do que será uma economia baseada no hidrogénio europeia (provavelmente é o *roadmap* que estará numa fase mais embrionária), sendo visível iniciativas nacionais incluindo Portugal para tentar construir cadeias energéticas do hidrogénio.

As economias mais desenvolvidas começam a despertar para a questão da mudança do paradigma energético. A economia baseada no hidrogénio parece ser a melhor alternativa mas, os meios (tecnologias e fontes de energia primária) para a atingir são diversos e dependem de inúmeros factores técnicos, políticos, económicos e financeiros.

## BIBLIOGRAFIA

Bent Sørensen e Finn Sørensen: *"A Hydrogen Future for Denmark"*, Institute 2, Energy & Environment Group, Roskilde University, 2000.

Canadian Hydrogen Association: *"Hydrogen Systems"* 2004.

Comissão das Comunidades Europeias: *"Rumo a um Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas"*, COM (2006) 847 final Bruxelas, 10.01.2007.

Comissão das Comunidades Europeias: *"Uma Política Energética para a Europa"*, COM (2007) Bruxelas, 10.01.2007.

Council of the European Union: *"Presidency Conclusions – 8-9 March 2007"*.

European Commission: *"Energy Futures – The Role of Research and Technological Development"*, 2006.

European Commission: *"Energy Research – In the 7<sup>th</sup> Framework Programme"*, 2007.

European Commission: *"European Hydrogen and Fuel Cell Projects"*, sixth framework programme, 2004.

European Commission: *"Transition to a Sustainable Energy System for Europe – The R&D Perspective"*, 2006.

European Commission: *"World Energy Technology Outlook – 2050 WETO – H2"*, 2006.

HyWays: *"An European Roadmap – Assumptions, Visions and Robust Conclusions from Project Phase I"*, 2006.

International Energy Agency: *"Energy Technology Perspectives 2006", Scenarios & Strategies to 2050*, OECD 2006.

International Energy Agency: *"Hydrogen Production and Storage", R&D Priorities and Gaps"*, OECD 2006.

International Energy Agency: *"World Energy Outlook 2006"*, OECD 2006.

NEDO: *"2006 Fuel Cell/Hydrogen Technology Development Roadmap"*.

Risø National Laboratory: *"Nordic H2 Energy Roadmaps"*, Andersen, Jørgensen, March 2004.

Risø National Laboratory: *"Key Technologies for Europe: Energy"*, Birte Holst Jørgensen, August 2005.

The White House, National Economic Council: *"Advanced Energy Initiative"*, February 2006.

United State Department of Energy: *"National Hydrogen Energy Roadmap"*, 2002.

**Sites consultados:**

Departamento de Energia dos E.U.A

<http://www.energy.gov/>

EULE, Stephen: "US Climate Change Policy An Overview", Presentation in National Conference of State Legislatures, April 2006.

Organização Japonesa de Promoção de I&D - NEDO

<http://www.nedo.go.jp/english/>

World Energy Council

<http://www.worldenergy.org/wec-geis/>

## ANEXOS

### Caixa A1: O Cenário de Referência para a Oferta de Energia

WETO – H2	TECH
<p><b>Projeção de Referência:</b></p> <p>Apesar do progresso tecnológico a procura de petróleo atinge o seu pico antes de 2030 e o de gás natural entre 2040 e 2050.</p> <p>Em 2050, assiste-se a uma alteração estrutural significativa no <i>mix</i> de combustíveis mundial: a produção primária cresce, desde de 1990, a um ritmo superior a 1,4 % ao ano, representando os hidrocarbonetos 71% do total das fontes primárias de energia (carvão 25%, petróleo 28% e gás natural 18%). A energia nuclear é responsável por 14% do total da oferta e as energias renováveis, no seu conjunto, por 15% do total. O contributo das energias não fósseis aumenta significativamente: nuclear, renováveis (hidroelectricidade, biomassa, eólica, solar). De 2030 a 2050, as energias eólica e solar crescem a 7,1% ao ano, o nuclear 4,1% e a biomassa 2,2%.</p> <p>Os preços do petróleo e do carvão continuam a subir, o que exige políticas restritivas do lado da procura.</p> <p>O carvão torna-se, ainda mais, uma importante fonte de abastecimento energético, acelerando o seu ritmo de crescimento (1,4% ao ano entre 1990 e 2010 para 1,8% ao ano entre 2030 e 2050), constituindo um fornecedor privilegiado para a produção de electricidade e, apesar das tecnologias avançadas para a produção de energia com base no carvão, a captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> não é a desejável.</p> <p>O crescimento sustentado da energia eléctrica necessita, para além das centrais a carvão, da implementação no mercado de novas tecnologias relacionadas com eólica <i>off-shore</i> e centrais nucleares de IV<sup>a</sup> geração.</p>	<p><b>Cenário de Referência:</b></p> <p>Em 2050, a produção de combustíveis fósseis representa 85%, mais 14 p.p. do que o apontado no WETO-H2 (carvão 34%, petróleo 27% e gás natural 24%). A energia nuclear tem uma expressão pouco significativa (4% do total) e as energias renováveis 11% do total da produção primária.</p> <p>A produção primária de energia cresce a 1,6% ao ano entre 2003 e 2050.</p> <p>Dado o elevado peso dos combustíveis fósseis como fonte primária de energia, mantêm-se as preocupações relativamente à segurança e às emissões de CO<sub>2</sub>.</p> <p>O forte crescimento do carvão neste cenário é motivado: pelo aumento dos preços de petróleo, que torna a CTL (<i>coal to liquids</i>) (um processo que permite a transformação do carvão em combustíveis líquidos) viável economicamente, bem como a produção de combustíveis sintéticos a partir do carvão; pela utilização intensiva de energia na indústria, especialmente na China e na Índia (nos países em desenvolvimento a procura de carvão cresce a 2,8% ao ano entre 2003 e 2050, face a 1,9% ao ano nos países da OCDE).</p> <p>A energia eléctrica torna-se a componente da procura final de energia com o ritmo de crescimento mais rápido.</p>

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

## Quadro A1: A Oferta de Energia no Mundo

CENÁRIO DE REFERÊNCIA					
WETO - H2			TECH		
	Mtoe em 2050	%		Mtoe em 2050	%
<b>Produção Primária</b>	<b>22276</b>	<b>100,0</b>	<b>Produção Primária</b>	<b>22112</b>	<b>100,0</b>
Carvão	5678	25,5	Carvão	7518	34,0
Petróleo	5964	26,8	Petróleo	5970	27,0
Gás Natural	4084	18,3	Gás Natural	5307	24,0
Energia Nuclear	3185	14,3	Energia Nuclear	884	4,0
Hídrica e geotérmica	417	1,9	Hídrica	442	2,0
Biomassa	2261	10,1	Outras renováveis	1990	9,0
Eólica Solar	686	3,1			
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>378</b>	<b>100,0</b>			
Carvão	111	29,4			
Renováveis	206	54,5			
Energia Nuclear	41	10,8			
CENÁRIOS RESTRIÇÕES DE CARBONO e ACT MAP					
<b>Produção Primária</b>	<b>19614</b>	<b>100,0</b>	<b>Produção Primária</b>	<b>16762</b>	<b>100,0</b>
Carvão	2617	13,3	Carvão	6309	37,6
Petróleo	4895	25,0	Petróleo	4761	28,4
Gás Natural	3825	19,5	Gás Natural	3705	22,1
Energia Nuclear	4257	21,7	Energia Nuclear	1469	8,8
Hídrica e geotérmica	441	2,2	Hídrica	483	2,9
Biomassa	2745	14,0	Outras renováveis	3445	20,6
Eólica Solar	836	4,3			
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>585</b>	<b>100,0</b>			
Carvão	2	0,3			
Renováveis	469	80,2			
Energia Nuclear	107	18,3			
CENÁRIOS HIDROGÉNIO e TECH PIUS					
<b>Produção Primária</b>	<b>20451</b>	<b>100,0</b>	<b>Produção Primária</b>	<b>17556</b>	<b>100,0</b>
Carvão	2901	14,2	Carvão	2640	15,0
Petróleo	5173	25,3	Petróleo	3805	21,7
Gás Natural	3802	18,6	Gás Natural	3656	20,8
Energia Nuclear	4688	22,9	Energia Nuclear	2148	12,2
Hídrica e geotérmica	430	2,1	Hídrica	493	2,8
Biomassa	2526	12,4	Outras renováveis	4812	27,4
Eólica Solar	933	4,6			
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>1047</b>	<b>100,0</b>			
Carvão	40	3,8			
Renováveis	545	52,1			
Energia Nuclear	399	38,1			

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).



Quadro A2: A Oferta de Energia – Cenário de Referência

(continua)

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>1593</b>	<b>100,0</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>1,6</b>
Carvão	225	14,1	-2,9	-0,1	0,2
Petróleo	86	5,4	1,6	-4,9	-1,4
Gás Natural	210	13,2	2,5	-2,1	0,2
Energia Nuclear	625	39,2	0,8	1,4	3,3
Hídrica e geotérmica	63	4,0	1,1	0,4	0,3
Biomassa	283	17,8	4,6	1,8	2,1
Eólica Solar	101	6,3	29,0	7,6	3,7
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>60</b>	<b>100,0</b>		<b>14,6</b>	<b>11,7</b>
Carvão	6	10,0		13,9	9,9
Renováveis	37	61,7		19,4	10,6
Energia Nuclear	16	26,7			26,7
<b>América Norte</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>3998</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>
Carvão	1272	31,8	0,5	1,5	2,0
Petróleo	1445	36,1	0,9	1,8	2,4
Gás Natural	324	8,1	1,9	-2,3	-1,8
Energia Nuclear	425	10,6	0,8	0,7	2,8
Hídrica e geotérmica	66	1,7	-0,9	0,7	0,4
Biomassa	342	8,6	4,7	2,4	0,9
Eólica Solar	124	3,1	14,2	11,4	5,9
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>90</b>	<b>100,0</b>		<b>16,4</b>	<b>12,6</b>
Carvão	68	75,6		18,9	12,5
Renováveis	15	16,7		21,9	12,7
Energia Nuclear	6	6,7			33,3
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>2294</b>	<b>100,0</b>	<b>-0,1</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>
Carvão	397	17,3	-1,3	1,8	1,0
Petróleo	498	21,7	0,1	-0,1	-0,8
Gás Natural	1005	43,8	0,1	1,4	0,6
Energia Nuclear	186	8,1	0,1	2,8	3,3
Hídrica e geotérmica	23	1,0	0,3	0,3	0,0
Biomassa	144	6,3	1,8	2,1	6,4
Eólica Solar	42	1,8		21,0	17,9
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>6</b>	<b>100,0</b>		<b>12,5</b>	<b>11,1</b>
Carvão	4	66,7		18,7	13,7
Renováveis	1	16,7			14,9
Energia Nuclear	1	16,7			
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>1067</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>
Carvão	390	36,6	2,6	1,8	1,8
Petróleo	34	3,2	-0,5	0,7	-0,7
Gás Natural	166	15,6	3,6	2,4	3,9
Energia Nuclear	334	31,3	3,8	3,0	2,6
Hídrica e geotérmica	15	1,4	-0,7	0,7	0,1
Biomassa	81	7,6	2,8	1,8	5,0
Eólica Solar	47	4,4		12,6	5,0
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>31</b>	<b>100,0</b>		<b>16,7</b>	<b>12,8</b>
Carvão	4	12,9		13,0	9,8
Renováveis	20	64,5		19,2	11,7
Energia Nuclear	8	25,8			32,7

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

(continuação)

Ásia (c)					
<b>Produção Primária</b>	<b>5500</b>	<b>100,0</b>	<b>3,1</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>
Carvão	2823	51,3	3,8	1,5	1,9
Petróleo	185	3,4	0,8	-1,8	-1,4
Gás Natural	158	2,9	7,8	-2,2	-3,3
Energia Nuclear	1252	22,8	7,6	7,8	5,1
Hídrica e geotérmica	136	2,5	4,0	2,4	1,2
Biomassa	758	13,8	0,6	0,3	1,1
Eólica Solar	188	3,4		17,1	7,9
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>105</b>	<b>100,0</b>		<b>16,8</b>	<b>14,2</b>
Carvão	18	17,1		15,5	11,9
Renováveis	81	77,1		22,2	16,2
Energia Nuclear	6	5,7			29,7
África (d)					
<b>Produção Primária</b>	<b>5853</b>	<b>100,0</b>	<b>1,8</b>	<b>3,6</b>	<b>1,1</b>
Carvão	524	9,0	2,9	2,7	2,6
Petróleo	2677	45,7	0,7	3,2	0,3
Gás Natural	1945	33,2	7,2	5,2	0,8
Energia Nuclear	260	4,4	2,5	14,6	8,1
Hídrica e geotérmica	19	0,3	2,8	1,6	1,3
Biomassa	314	5,4	0,0	-1,8	4,6
Eólica Solar	115	2,0		11,6	14,2
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>55</b>	<b>100,0</b>		<b>14,5</b>	<b>14,8</b>
Carvão	4	7,3		7,9	12,6
Renováveis	32	58,2		20,1	18,8
Energia Nuclear	2	3,6			23,4
América Latina					
<b>Produção Primária</b>	<b>1971</b>	<b>100,0</b>	<b>3,4</b>	<b>1,9</b>	<b>0,5</b>
Carvão	48	2,4	-0,9	3,5	1,3
Petróleo	1040	52,8	2,8	1,8	0,3
Gás Natural	277	14,1	7,3	2,0	-2,5
Energia Nuclear	103	5,2	3,2	8,9	5,7
Hídrica e geotérmica	95	4,8	1,9	1,6	1,1
Biomassa	339	17,2	2,4	1,0	3,2
Eólica Solar	69	3,5		22,3	7,4
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>30</b>	<b>100,0</b>		<b>15,7</b>	<b>12,2</b>
Carvão	7	23,3		15,8	9,2
Renováveis	21	70,0		21,2	14,2
Energia Nuclear	2	6,7			22,8

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

## Caixa A2: Cenários Restrições de Carbono e ACT para a Oferta de Energia

<p>Cenário: <b>Restrições de Carbono</b></p> <p>Neste cenário exploram-se as consequências de uma política de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, no sentido de estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> de 500 para 550 ppm.</p> <p>Em 2050, os combustíveis fósseis já só representam 58% do total da produção primária de energia, em parte por uma diminuição da importância do carvão. As energias renováveis e nuclear aumentam a sua representatividade na estrutura da oferta (22% e 20%, respectivamente).</p> <p>A produção primária cresce, desde de 1990, a um ritmo superior a 1,1 % ao ano, inferior ao crescimento registado no cenário de referência.</p> <p>Dadas as restrições na utilização de hidrocarbonetos, o "peak oil" ocorre mais cedo, o que reduz os preços dos petróleo e do gás natural, e as tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> levam a uma gestão mais sustentável das energias não renováveis.</p> <p>A produção de electricidade torna-se mais "limpa", pela nova configuração do <i>mix</i> de fontes primárias de energia.</p>	<p>Cenário: <b>ACT</b> (Accelerated Technology)</p> <p>Em 2050, os combustíveis fósseis reduziram a sua importância na estrutura da oferta primária de energia para 71% (mas mais importante do que para o WETO-H2), comparativamente ao projectado no cenário de referência (85%). Esta redução resulta da diminuição de importância de todas as energias fósseis, por ordem decrescente de redução: gás natural (6 p.p.), petróleo (3 p.p.) e carvão (2 p.p.).</p> <p>A diminuição da procura de energia fóssil pode estar associada a ganhos de eficiência e ao novo <i>mix</i> de fontes de energia primária. As importações de energia diminuem significativamente, reduzindo a dependência energética do exterior.</p> <p>Mas a redução da procura de combustíveis fósseis leva a uma diminuição dos preços do petróleo e do gás, o que mitiga os efeitos das políticas restritivas e de desincentivo da utilização de combustíveis fósseis e da redução das emissões de CO<sub>2</sub>.</p> <p>A diminuição da procura de carvão, é compensada pelo aumento da procura de energias renováveis e nuclear.</p>
---	---

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Quadro A3: A Oferta de Energia – Cenário Restrições de Carbono

(continua)

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>1688</b>	<b>100,0</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>2,1</b>
Carvão	113	6,7	-2,9	-1,8	-1,5
Petróleo	61	3,6	1,6	-5,3	-2,6
Gás Natural	216	12,8	2,5	-2,1	0,3
Energia Nuclear	770	45,6	0,8	1,4	4,4
Hídrica e geotérmica	64	3,8	1,1	0,5	0,3
Biomassa	338	20,0	4,6	2,5	2,3
Eólica Solar	126	7,5	29,0	8,3	4,2
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>93</b>	<b>100,0</b>		<b>13,9</b>	<b>10,5</b>
Carvão	0	0,0		4,5	-1,2
Renováveis	64	68,8		20,0	9,1
Energia Nuclear	28	30,1		14,2	27,8
<b>América Norte</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>3063</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>1,5</b>
Carvão	421	13,7	0,5	-2,2	0,1
Petróleo	1079	35,2	0,9	1,2	1,5
Gás Natural	311	10,2	1,9	-2,9	-1,3
Energia Nuclear	534	17,4	0,8	0,2	4,6
Hídrica e geotérmica	67	2,2	-0,9	0,9	0,3
Biomassa	483	15,8	4,7	2,8	2,2
Eólica Solar	167	5,5	14,2	14,6	4,5
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>147</b>	<b>100,0</b>		<b>16,7</b>	<b>10,5</b>
Carvão	0	0,0		0,8	-1,5
Renováveis	104	70,7		33,7	9,1
Energia Nuclear	43	29,3			31,1
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>1951</b>	<b>100,0</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
Carvão	125	6,4	-1,4	-0,9	-2,1
Petróleo	441	22,6	0,1	-0,2	-1,3
Gás Natural	885	45,4	0,1	0,8	0,5
Energia Nuclear	292	15,0	0,1	3,8	4,6
Hídrica e geotérmica	24	1,2	0,3	0,5	0,0
Biomassa	130	6,7	1,8	4,3	3,7
Eólica Solar	54	2,8		34,8	7,1
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>8</b>	<b>100,0</b>		<b>12,4</b>	<b>10,1</b>
Carvão	0	0,0		4,9	-0,8
Renováveis	4	50,0			9,6
Energia Nuclear	4	50,0			29,4
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>860</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>
Carvão	115	13,4	2,6	-0,3	-2,2
Petróleo	27	3,1	-0,5	0,4	-1,5
Gás Natural	171	19,9	3,6	2,6	3,9
Energia Nuclear	383	44,5	3,8	3,1	3,2
Hídrica e geotérmica	15	1,7	-0,7	0,9	0,0
Biomassa	98	11,4	2,8	3,6	4,1
Eólica Solar	51	5,9		14,0	4,1
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>44</b>	<b>100,0</b>		<b>15,3</b>	<b>11,7</b>
Carvão	0	0,0		-0,7	-2,3
Renováveis	31	70,5		19,2	10,1
Energia Nuclear	13	29,5			32,0

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

(continuação)

Ásia (c)						
<b>Produção Primária</b>	<b>4951</b>	<b>100,0</b>		<b>3,1</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>
Carvão	1594	32,2		3,8	0,8	-0,4
Petróleo	147	3,0		0,8	-2,1	-2,2
Gás Natural	145	2,9		7,8	-2,1	-3,8
Energia Nuclear	1756	35,5		7,6	8,1	6,6
Hídrica e geotérmica	150	3,0		4,0	2,7	1,5
Biomassa	931	18,8		0,6	0,6	1,9
Eólica Solar	2134	43,1			18,8	7,3
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>164</b>	<b>100,0</b>			<b>16,4</b>	<b>13,9</b>
Carvão	1	0,6			5,4	0,8
Renováveis	151	92,1			23,3	15,3
Energia Nuclear	11	6,7				33,5
África (d)						
<b>Produção Primária</b>	<b>5327</b>	<b>100,0</b>		<b>1,8</b>	<b>3,3</b>	<b>0,9</b>
Carvão	227	4,3		2,9	1,5	-0,5
Petróleo	2286	42,9		0,7	2,8	-0,1
Gás Natural	1824	34,2		7,2	5,2	0,5
Energia Nuclear	422	7,9		2,5	15,3	10,0
Hídrica e geotérmica	21	0,4		2,8	1,7	1,6
Biomassa	415	7,8		0,0	-1,2	5,4
Eólica Solar	131	2,5			13,8	12,7
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>83</b>	<b>100,0</b>			<b>14,5</b>	<b>14,5</b>
Carvão	0	0,0			2,0	0,0
Renováveis	75	90,4			22,7	19,2
Energia Nuclear	6	7,2				28,5
América Latina						
<b>Produção Primária</b>	<b>1775</b>	<b>100,0</b>		<b>3,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>
Carvão	23	1,3		-0,8	2,9	-1,8
Petróleo	853	48,1		2,8	1,4	-0,3
Gás Natural	273	15,4		7,4	2,1	-2,6
Energia Nuclear	100	5,6		3,2	9,4	5,1
Hídrica e geotérmica	99	5,6		1,9	1,6	1,2
Biomassa	348	19,6		2,4	1,2	3,1
Eólica Solar	79	4,5			23,5	7,1
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>45</b>	<b>100,0</b>			<b>14,8</b>	<b>11,6</b>
Carvão	0	0,0			8,5	-2,6
Renováveis	41	91,1			22,5	13,1
Energia Nuclear	3	6,7				26,9

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Caixa A3: Cenários Hidrogénio e TECH Plus para a Oferta de Energia

<p><b>Cenário: Hidrogénio</b></p> <p>Este cenário conjuga todas as iniciativas que facilitam e aceleram o desenvolvimento e a implementação das tecnologias relacionadas com um sistema energético baseado no hidrogénio. Estas tecnologias são competitivas, e dizem respeito às soluções tecnológicas da Plataforma Tecnológica Europeia do Hidrogénio e <i>Fuel Cells</i>.</p> <p>As alterações no <i>mix</i> de fontes de energia primárias é significativa. Mantém-se o peso dos combustíveis fósseis em 58%, a energia nuclear representa 23% do total da produção primária do mundo e as renováveis 19%.</p> <p>Como seria de esperar, é o cenário onde a produção de hidrogénio regista o maior ritmo de crescimento acima dos 12,0% ao ano, de 2010 a 2050.</p>	<p><b>Cenário: TECH Plus</b></p> <p>Acentua-se a tendência do cenário ACT Map de redução do peso dos combustíveis fósseis no total da produção primária de energia mundial, atingindo uma importância semelhante à projectada no WETO-H2 (58%). O efeito deve-se essencialmente à redução significativa do carvão para cerca de metade, embora o peso do gás natural tenha aumentado ligeiramente de importância (3 p.p. situando-se em 21%).</p> <p>Tal como no cenário ACT, mantém-se a tendência de redução da procura de combustíveis fósseis, que leva a uma diminuição dos preços do petróleo e do gás, o que mitiga os efeitos das políticas restritivas e de desincentivo da utilização de combustíveis fósseis e da redução das emissões de CO<sub>2</sub>.</p> <p>O papel do hidrogénio e dos veículos a pilhas de combustível desempenham um papel importante, assim como os combustíveis sintéticos e os biocombustíveis.</p>
--	---

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Quadro A4: A Oferta de Energia – Cenário Hidrogénio

(continua)

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>1697</b>	<b>100,0</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>2,1</b>
Carvão	98	5,8	-2,8	-2,5	-1,6
Petróleo	67	3,9	1,7	-5,0	-2,5
Gás Natural	196	11,5	2,4	-2,0	-0,2
Energia Nuclear	852	50,2	0,9	1,9	4,4
Hídrica e geotérmica	64	3,8	1,1	0,4	0,3
Biomassa	273	16,1	4,6	2,1	1,6
Eólica Solar	147	8,7	29,2	8,2	4,9
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>120</b>	<b>100,0</b>		<b>17,0</b>	<b>9,8</b>
Carvão	4	3,3		18,9	-1,9
Renováveis	47	39,2		20,2	11,4
Energia Nuclear	64	53,3		26,1	15,0
<b>América Norte</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>3232</b>	<b>100,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,0</b>	<b>1,3</b>
Carvão	488	15,1	0,8	-1,3	-0,4
Petróleo	1225	37,9	0,9	1,9	1,4
Gás Natural	312	9,7	1,7	-2,8	-1,3
Energia Nuclear	546	16,9	0,9	0,2	4,6
Hídrica e geotérmica	67	2,1	-0,9	0,9	0,3
Biomassa	392	12,1	4,8	2,4	1,6
Eólica Solar	202	6,3	14,4	14,3	5,5
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>205</b>	<b>100,0</b>		<b>11,7</b>	<b>10,6</b>
Carvão	14	6,8		12,8	-1,8
Renováveis	82	40,0		16,5	19,5
Energia Nuclear	104	50,7		22,2	24,9
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>2088</b>	<b>100,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>
Carvão	170	8,1	-1,0	-0,8	-1,1
Petróleo	460	22,0	0,1	0,0	-1,2
Gás Natural	920	44,1	0,2	1,4	0,1
Energia Nuclear	332	15,9	0,6	4,8	3,8
Hídrica e geotérmica	23	1,1	0,3	0,5	0,0
Biomassa	130	6,2	1,8	3,7	4,3
Eólica Solar	52	2,5		32,0	9,2
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>22</b>	<b>100,0</b>		<b>17,0</b>	<b>10,2</b>
Carvão	1	4,5		22,0	0,3
Renováveis	6	27,3			21,6
Energia Nuclear	11	50,0			27,3
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Produção Primária</b>	<b>859</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>
Carvão	134	15,6	2,7	-0,6	-1,2
Petróleo	30	3,5	-0,5	0,8	-1,4
Gás Natural	158	18,4	3,2	3,2	3,3
Energia Nuclear	404	47,0	3,9	3,2	3,2
Hídrica e geotérmica	16	1,9	-0,7	1,1	0,1
Biomassa	62	7,2	2,7	2,9	26,0
Eólica Solar	55	6,4		13,9	4,6
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>57</b>	<b>100,0</b>		<b>16,1</b>	<b>11,7</b>
Carvão	2	3,5		13,2	-2,0
Renováveis	15	26,3		17,5	13,7
Energia Nuclear	40	70,2		27,4	16,2

A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?

(continuação)

Ásia (c)						
<b>Produção Primária</b>	<b>5461</b>	<b>100,0</b>		<b>3,1</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>
Carvão	1761	32,2		3,8	0,4	0,5
Petróleo	156	2,9		0,9	-1,8	-2,2
Gás Natural	171	3,1		8,0	-3,0	-2,3
Energia Nuclear	2041	37,4		8,3	10,4	4,4
Hídrica e geotérmica	143	2,6		4,0	2,6	1,4
Biomassa	929	17,0		0,3	0,4	2,4
Eólica Solar	260	4,8			18,2	9,0
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>432</b>	<b>100,0</b>			<b>23,4</b>	<b>13,2</b>
Carvão	13	3,0			20,1	2,4
Renováveis	254	58,8			31,5	15,8
Energia Nuclear	149	34,5			28,1	24,6
África (d)						
<b>Produção Primária</b>	<b>5187</b>	<b>100,0</b>		<b>1,5</b>	<b>3,7</b>	<b>0,7</b>
Carvão	218	4,2		2,8	1,0	-0,1
Petróleo	2293	44,2		0,1	3,4	-0,1
Gás Natural	1772	34,2		7,2	5,2	0,4
Energia Nuclear	379	7,3		3,0	18,9	5,7
Hídrica e geotérmica	21	0,4		2,8	1,7	1,5
Biomassa	375	7,2		0,0	-1,5	5,2
Eólica Solar	129	2,5			12,5	13,8
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>101</b>	<b>100,0</b>			<b>19,1</b>	<b>14,6</b>
Carvão	1	1,0			5,5	6,8
Renováveis	68	67,3			23,7	23,5
Energia Nuclear	7	6,9				29,0
América Latina						
<b>Produção Primária</b>	<b>1928</b>	<b>100,0</b>		<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>0,3</b>
Carvão	30	1,6		-0,7	3,4	-1,1
Petróleo	942	48,9		2,8	1,9	-0,3
Gás Natural	273	14,2		7,4	1,8	-2,5
Energia Nuclear	134	7,0		3,2	11,1	5,0
Hídrica e geotérmica	96	5,0		1,9	1,6	1,1
Biomassa	365	18,9		2,3	1,2	3,3
Eólica Solar	89	4,6			22,7	8,4
<b>Produção de Hidrogénio</b>	<b>109</b>	<b>100,0</b>			<b>17,9</b>	<b>12,1</b>
Carvão	5	4,6			16,8	1,6
Renováveis	73	67,0			27,9	16,2
Energia Nuclear	24	22,0				23,5

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).



**Caixa A4: Cenário de Referência para a Procura de Energia e Geração de Electricidade**

WETO – H2	TECH
<p><b>Projecção de Referência:</b></p> <p>O consumo final de energia, cresce a um ritmo progressivamente inferior, passando de 1,5% ao ano entre 1990 e 2010 para 1,1% ao ano entre 2030 e 2050. O crescimento do consumo é claramente inferior ao crescimento do produto gerado na economia mundial, o que pressupõe um aumento da eficiência energética.</p> <p>Em 2050, a maior proporção do consumo de energia deve-se aos edifícios residenciais, de serviços e agricultura (45%, 34% da indústria e 21% dos transportes) sendo este segmento aquele que cresce sempre acima da média.</p> <p>A geração de electricidade mantém um ritmo de crescimento semelhante ao do produto da economia, afirmando-se como núcleo duro do sistema energético. Esta evolução reflecte o dinamismo do mercado da electricidade e a penetração pouco significativa dos edifícios e dos veículos mais eficientes em energia.</p> <p>O carvão é a fonte primária de energia mais utilizada na produção de electricidade (33%), seguido do nuclear (25%) e do gás natural (15%), As energias renováveis representam 26% do total da electricidade gerada e o hidrogénio já pesa 1% do total.</p>	<p><b>Cenário de Referência:</b></p> <p>O consumo final de energia, cresce, de um modo geral em todos os sectores e ao contrário do WETO-H2, a um ritmo progressivamente superior (1,4% ao ano entre 2003 e 2030 para 2,8% ao ano de 2030 a 2050). O aumento do consumo final de energia deve-se ao aumento da produção de combustíveis sintéticos, produção essa intensiva em electricidade.</p> <p>O aumento da eficiência energética não é tão visível neste cenário, já que o produto entre 2030 e 2050 cresce a 2,6% ao ano.</p> <p>Em 2050, 24% do consumo final de energia é realizado pelos edifícios residenciais e de serviços, 23% pela electricidade e 21% pelos transportes.</p> <p>Projecta-se que o carvão é o mais utilizado para gerar electricidade (47%), 28% do gás natural e apenas 7% da electricidade é gerada a partir de centrais nucleares. As energias renováveis geram 15% da electricidade total.</p> <p>A geração de electricidade a partir de centrais nucleares exige investimentos avultados e uma opção forte nesta fonte primária de energia.</p>

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Quadro A5: A Procura Energética no Mundo

CENÁRIO DE REFERÊNCIA					
	WETO - H2		TECH		
	Mtoe em 2051	%		Mtoe em 2051	%
Indústria	4649	33,8	Electricidade	5177	23,9
Transportes	2929	21,3	Outras Transformações Combustível	2761	12,7
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	6162	44,8	Indústria	4138	19,1
			Transportes	4472	20,6
			Edifícios Residenciais e Serviços	5142	23,7
TOTAL	13740	100,0	TOTAL	21690	100,0
CENÁRIOS RESTRIÇÕES DE CARBONO e ACT MAP					
Indústria	3627	26,4	Electricidade	3712	17,1
Transportes	2635	19,2	Outras Transformações Combustível	2154	9,9
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	5539	40,3	Indústria	3339	15,4
			Transportes	3705	17,1
			Edifícios Residenciais e Serviços	3428	15,8
TOTAL	11801	100,0	TOTAL	16338	100,0
CENÁRIOS HIDROGÉNIO e TECH PIUS					
Indústria	3810	30,1	Electricidade	3929	22,9
Transportes	2908	23,0	Outras Transformações Combustível	2975	17,4
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	5921	46,8	Indústria	3339	19,5
			Transportes	3461	20,2
			Edifícios Residenciais e Serviços	3428	20,0
TOTAL	12639	100,0	TOTAL	17132	100,0

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Quadro A6: A Geração de Electricidade no Mundo

CENÁRIO DE REFERÊNCIA					
	WETO - H2		TECH		
	Mt CO2 em 2050	%		Mt CO2 em 2050	%
Geração Electricidade	16065	36,3	Geração Electricidade	26294	45,6
Indústria	7971	18,0	Outras Transformações Combustível	7603	13,2
Transportes	7263	16,4	Indústria	6512	11,3
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	7891	17,8	Transportes	11733	20,4
Outros	5107	11,5	Edifícios Residenciais e Serviços	5469	9,5
TOTAL	44297	100,0	TOTAL	57611	100,0
Captura CO2	2545	5,7			
CENÁRIOS RESTRIÇÕES DE CARBONO e ACT MAP					
Geração Electricidade	4454	10,1	Geração Electricidade	7324	12,7
Indústria	4837	10,9	Outras Transformações Combustível	2696	4,7
Transportes	5850	13,2	Indústria	3501	6,1
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	6617	14,9	Transportes	8486	14,7
Outros	3701	8,4	Edifícios Residenciais e Serviços	3552	6,2
TOTAL	25459	100,0	TOTAL	25559	100,0
Captura CO2	6442	25,3			
CENÁRIOS HIDROGÉNIO e TECH PIUS					
Geração Electricidade	4073	14,9	Geração Electricidade	5119	25,4
Indústria	5307	19,4	Outras Transformações Combustível	2074	10,3
Transportes	5660	20,7	Indústria	3501	17,3
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	7698	28,2	Transportes	5946	29,5
Outros	4557	16,7	Edifícios Residenciais e Serviços	3550	17,6
TOTAL	27295	100,0	TOTAL	20190	100,0
Captura CO2	6863	25,1			

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Quadro A7: A Procura Energética – Cenário de Referência

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1647</b>	<b>100,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>
Carvão	82	5,0	-3,3	0,2	-0,1
Petróleo	570	34,6	0,4	0,3	-0,7
Gás Natural	238	14,5	1,4	-0,3	-1,0
Electricidade	596	36,2	1,9	1,8	1,7
Biomassa	76	4,6	1,8	0,1	0,9
Calor	53	3,2	-0,2	0,2	0,3
Hidrogénio	31	1,9		13,6	9,8
<b>América Norte</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>2073</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>
Carvão	45	2,2	-2,2	-0,1	0,7
Petróleo	826	39,8	0,9	0,2	-0,7
Gás Natural	270	13,0	0,9	-0,2	-1,5
Electricidade	766	37,0	2,3	1,5	1,5
Biomassa	80	3,9	4,3	1,2	-0,5
Calor	13	0,6	7,2	0,1	0,1
Hidrogénio	72	3,5		16,2	12,3
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>912</b>	<b>100,0</b>	<b>-2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>
Carvão	64	7,0	-4,8	1,1	0,0
Petróleo	208	22,8	-3,5	1,6	-0,2
Gás Natural	199	21,8	-2,0	0,7	-0,3
Electricidade	236	25,9	-0,5	2,6	1,8
Biomassa	46	5,0	-4,7	-2,4	12,4
Calor	156	17,1	1,7	0,0	0,0
Hidrogénio	3	0,3		14,8	9,5
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>598</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>
Carvão	37	6,2	-0,1	0,0	-0,9
Petróleo	232	38,8	0,8	0,0	-0,6
Gás Natural	44	7,4	2,8	1,1	-1,1
Electricidade	262	43,8	2,2	2,0	1,8
Biomassa	11	1,8	-0,7	-2,3	4,9
Calor	3	0,5	0,0	1,1	1,5
Hidrogénio	10	1,7		14,2	9,7
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>5466</b>	<b>100,0</b>	<b>3,3</b>	<b>2,4</b>	<b>1,3</b>
Carvão	1047	19,2	2,1	1,6	0,8
Petróleo	1998	36,6	5,6	3,1	1,1
Gás Natural	459	8,4	8,4	4,2	0,4
Electricidade	1469	26,9	7,1	4,1	3,0
Biomassa	390	7,1	0,2	-0,9	-0,5
Calor	31	0,6	4,4	0,0	0,0
Hidrogénio	73	1,3		18,1	13,8
<b>África (d)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>2053</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	<b>2,9</b>
Carvão	85	4,1	1,8	2,8	2,9
Petróleo	953	46,4	2,7	3,0	2,5
Gás Natural	262	12,8	5,8	1,2	1,9
Electricidade	595	29,0	5,0	4,3	4,8
Biomassa	129	6,3	-0,2	-2,2	0,8
Calor	1	0,0	2,6	0,0	0,0
Hidrogénio	30	1,5		16,7	13,1
<b>América Latina</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>990</b>	<b>100,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,2</b>
Carvão	17	1,7	1,8	0,9	-1,1
Petróleo	385	38,9	1,2	2,0	0,5
Gás Natural	140	14,1	4,4	2,5	-0,2
Electricidade	292	29,5	3,8	3,3	2,6
Biomassa	134	13,5	0,8	-0,1	1,9
Calor	0	0,0		0,0	0,0
Hidrogénio	22	2,2		16,5	11,6

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

**Quadro A8: A Geração de Electricidade – Cenário de Referência**

	WETO - H2				
	TWh em 2050	%	1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>8608</b>	<b>100,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>
<i>Térmica da qual:</i>	3588	41,7	2,2	1,5	0,5
Carvão	1860	21,6	-0,1	1,9	0,9
Gás Natural	1337	15,5	8,2	0,9	0,1
Biomassa	328	3,8	10,4	4,5	1,2
Nuclear	2931	34,0	1,2	1,8	3,6
Hídrica + Geotérmica	738	8,6	1,2	0,4	0,3
Solar	344	4,0	15,5	23,8	16,3
Eólica	817	9,5	28,8	7,7	2,1
Hidrogénio	190	2,2		22,4	16,2
<b>América Norte</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>10337</b>	<b>100,0</b>	<b>2,1</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
<i>Térmica da qual:</i>	6064	58,7	2,7	1,3	0,7
Carvão	3976	38,5	0,5	2,0	1,5
Gás Natural	1408	13,6	8,0	0,0	-1,3
Biomassa	598	5,8	1,9	5,9	1,8
Nuclear	2014	19,5	1,2	1,1	3,1
Hídrica + Geotérmica	764	7,4	0,1	0,7	0,4
Solar	308	3,0	-10,0	28,9	17,2
Eólica	1115	10,8	13,3	13,0	4,9
Hidrogénio	73	0,7		24,8	15,6
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3458</b>	<b>100,0</b>	<b>-0,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,7</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1804	52,2	-0,9	2,5	0,1
Carvão	836	24,2	-1,9	4,2	1,1
Gás Natural	787	22,8	0,9	1,5	-0,8
Biomassa	150	4,3	3,1	5,2	1,7
Nuclear	869	25,1	0,5	3,1	3,6
Hídrica + Geotérmica	268	7,8	0,3	0,3	0,0
Solar	3	0,1		1,0	12,8
Eólica	489	14,1		26,8	18,0
Hidrogénio	23	0,7		9,5	14,0
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3624</b>	<b>100,0</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1210	33,4	1,9	0,7	0,1
Carvão	723	20,0	3,8	1,8	0,7
Gás Natural	352	9,7	4,2	-0,3	-1,3
Biomassa	105	2,9	1,8	4,9	2,4
Nuclear	1551	42,8	4,2	3,4	2,8
Hídrica + Geotérmica	171	4,7	0,3	0,7	0,1
Solar	239	6,6		28,9	13,7
Eólica	301	8,3		15,9	2,6
Hidrogénio	152	4,2		25,2	15,4
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>21764</b>	<b>100,0</b>	<b>7,1</b>	<b>4,1</b>	<b>2,9</b>
<i>Térmica da qual:</i>	12008	55,2	7,5	3,4	1,8
Carvão	9394	43,2	7,9	2,6	2,6
Gás Natural	1948	9,0	11,5	6,1	-0,7
Biomassa	504	2,3		7,3	1,6
Nuclear	5812	26,7	8,0	8,2	5,3
Hídrica + Geotérmica	1581	7,3	5,0	2,4	1,2
Solar	114	0,5		3,6	13,1
Eólica	2074	9,5	35,8	19,0	7,7
Hidrogénio	175	0,8		13,0	16,2
<b>África (d)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>8167</b>	<b>100,0</b>	<b>4,7</b>	<b>4,3</b>	<b>4,8</b>
<i>Térmica da qual:</i>	5240	64,2	4,9	4,0	3,4
Carvão	1736	21,3	4,3	4,3	3,2
Gás Natural	2472	30,3	7,5	3,8	3,3
Biomassa	285	3,5		34,4	11,9
Nuclear	1213	14,9	2,9	15,0	8,3
Hídrica + Geotérmica	227	2,8	2,9	1,6	1,3
Solar	457	5,6		19,4	14,3
Eólica	869	10,6		19,8	14,9
Hidrogénio	161	2,0		10,1	19,1
<b>América Latina</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>4083</b>	<b>100,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	<b>2,5</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1669	40,9	5,6	3,6	1,5
Carvão	542	13,3	6,8	7,4	2,6
Gás Natural	768	18,8	9,9	2,9	0,4
Biomassa	275	6,7	10,8	4,8	4,1
Nuclear	475	11,6	3,6	9,3	5,9
Hídrica + Geotérmica	1105	27,1	2,6	1,6	1,1
Solar	28	0,7		8,0	16,1
Eólica	768	18,8		26,0	7,3
Hidrogénio	37	0,9		11,2	16,5

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: DPP, adaptado OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

**Caixa A5: Cenários Restrições de Carbono e ACT para a Procura de Energia e Geração de Electricidade**

<p><b>Cenário: Restrições de Carbono</b></p> <p>O consumo final de energia apresenta um ritmo de crescimento ainda mais baixo do que no cenário de referência, sendo de 0,7% ao ano, entre 2030 e 2050.</p> <p>O consumo final de energia torna-se relativamente estável, pois o crescimento do consumo no sector de edifícios residenciais, serviços e agricultura (acima de 1,3% ao ano de 1990 a 2050) é compensada pelo crescimento fraco ou quase nulo do consumo final de energia na indústria e nos transportes. A repartição do consumo final de energia passa a ser: 47% para os edifícios residenciais, serviços e agricultura, 31% para a indústria e 22% para os transportes.</p> <p>As principais alterações, neste cenário, dizem respeito à adopção de tecnologias de uso final, designadamente, edifícios mais eficientes e de veículos com níveis reduzidos de emissões poluentes.</p> <p>A geração de electricidade é inferior ao cenário de referência e altera-se a estrutura do consumo: o carvão desce para metade em favor do nuclear (mais 9 p.p. – 34%), hidrogénio (mais 2 p.p. – 3%) e renováveis (mais 5 p.p. – 31%).</p>	<p><b>Cenário: ACT (Accelerated Technology)</b></p> <p>O consumo final de energia, cresce, de um modo geral em todos os sectores a 0,9% ao ano de 2003 a 2050.</p> <p>Para um consumo final inferior ao de cenário de referência, os transportes e a electricidade representam, cada um deles, 23% do total do consumo, reduzindo-se o consumo dos edifícios residenciais e serviços (21%) em favor do aumento do consumo dos transportes e da indústria (20%).</p> <p>O crescimento das centrais de combustão a carvão é menos significativo do que no cenário de referência, levando a uma alteração na estrutura da geração de electricidade: diminui 20 p.p. a utilização do carvão (27%) e em 5 p.p. a do gás natural (23%), aumenta a proporção de electricidade gerada a partir de energia nuclear (10 p.p. – 17%), hídrica (6 p.p. – 15%), outras renováveis (inclui eólica, solar, geotérmica, ondas e marés) (7 p.p. – 11%) e biomassa (3 p.p. – 5%).</p>
---	---

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

**Quadro A9: A Procura Energética – Cenário Restrições de Carbono**

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1483</b>	<b>100,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>
Carvão	36	2,4	-3,3	-1,9	-1,9
Petróleo	471	31,8	0,3	-0,4	-0,9
Gás Natural	206	13,9	1,4	-1,0	-1,1
Electricidade	594	40,1	1,9	1,6	1,9
Biomassa	79	5,3	1,8	0,1	1,0
Calor	53	3,6	-0,2	0,2	0,3
Hidrogénio	45	3,0		13,1	8,0
<b>América Norte</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1725</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>0,1</b>
Carvão	10	0,6	-2,2	-5,5	-1,3
Petróleo	615	35,7	0,9	-0,7	-1,3
Gás Natural	228	13,2	0,8	-1,2	-1,4
Electricidade	678	39,3	2,3	0,8	1,7
Biomassa	73	4,2	4,3	0,6	-0,4
Calor	13	0,8	7,2	0,1	0,1
Hidrogénio	109	6,3		16,3	9,8
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>770</b>	<b>100,0</b>		<b>0,4</b>	<b>0,4</b>
Carvão	24	3,1	-4,8	-1,9	-2,0
Petróleo	172	22,3	-3,5	0,8	-0,4
Gás Natural	159	20,6	-2,0	-0,4	-0,3
Electricidade	221	28,7	-0,5	2,4	1,7
Biomassa	34	4,4	-4,7	1,5	6,4
Calor	156	20,3	1,7	0,0	0,0
Hidrogénio	4	0,5		13,2	8,0
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>546</b>	<b>100,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>
Carvão	16	2,9	-0,1	-4,1	-0,8
Petróleo	200	36,6	0,7	-0,5	-0,7
Gás Natural	46	8,4	2,6	1,1	-0,7
Electricidade	257	47,1	2,2	1,8	1,9
Biomassa	10	1,8	-0,7	-2,3	4,1
Calor	3	0,5	0,0	1,1	1,5
Hidrogénio	13	2,4		13,3	7,9
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>4652</b>	<b>100,0</b>	<b>3,3</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>
Carvão	539	11,6	2,1	0,8	-1,7
Petróleo	1713	36,8	5,6	3,0	0,5
Gás Natural	439	9,4	8,4	4,0	0,3
Electricidade	1418	30,5	7,1	4,0	2,9
Biomassa	409	8,8	0,2	-0,9	-0,3
Calor	31	0,7	4,4	0,0	0,0
Hidrogénio	103	2,2		16,9	12,6
<b>África (d)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1757</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>	<b>2,3</b>
Carvão	17	1,0	1,8	1,3	-3,5
Petróleo	765	43,5	2,7	2,8	1,6
Gás Natural	242	13,8	5,8	1,0	1,7
Electricidade	558	31,8	5,0	4,2	4,6
Biomassa	134	7,6	-0,2	-2,2	1,0
Calor	1	0,1	2,6	0,0	0,0
Hidrogénio	39	2,2		15,5	11,7
<b>América Latina</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>867</b>	<b>100,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>
Carvão	4	0,5	1,8	0,0	-6,5
Petróleo	303	34,9	1,2	1,7	-0,5
Gás Natural	123	14,2	4,4	2,4	-0,8
Electricidade	288	33,2	3,9	3,3	2,5
Biomassa	116	13,4	0,8	-0,2	1,2
Calor	0	0,0		0,0	0,0
Hidrogénio	33	3,8		15,1	10,8

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não dispo (a) inclui Rússia

(b) inclui Japão (c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

**Quadro A10: A Geração de Electricidade – Cenário Restrições de Carbono**

	TWh em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>8803</b>	<b>100,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>2,2</b>
<i>Térmica da qual:</i>	2673	30,4	2,2	0,9	-0,4
Carvão	781	8,9	-0,1	-0,4	-1,1
Gás Natural	1492	16,9	8,2	1,7	-0,2
Biomassa	361	4,1	10,4	5,5	0,7
Nuclear	3612	41,0	1,2	1,7	4,7
Hídrica + Geotérmica	746	8,5	1,2	0,5	0,3
Solar	593	6,7	15,5	27,2	16,4
Eólica	859	9,8	28,8	8,3	1,7
Hidrogénio	321	3,6		25,2	16,6
<b>América Norte</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>9407</b>	<b>100,0</b>	<b>2,1</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>
<i>Térmica da qual:</i>	3991	42,4	2,7	0,0	-0,1
Carvão	1415	15,0	0,5	-2,4	0,8
Gás Natural	1841	19,6	8,1	1,1	-1,1
Biomassa	680	7,2	1,9	6,5	1,9
Nuclear	2509	26,7	1,2	0,5	4,9
Hídrica + Geotérmica	784	8,3	0,1	0,9	0,3
Solar	590	6,3	-10,0	40,1	11,4
Eólica	1337	14,2	13,3	16,1	3,1
Hidrogénio	196	2,1		29,8	16,8
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3261</b>	<b>100,0</b>	<b>-0,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,6</b>
<i>Térmica da qual:</i>	963	29,5	-0,9	1,4	-1,9
Carvão	231	7,1	-1,9	1,7	-2,9
Gás Natural	547	16,8	0,9	0,8	-2,0
Biomassa	174	5,3	3,1	7,1	0,7
Nuclear	1366	41,9	0,5	4,2	4,8
Hídrica + Geotérmica	279	8,6	0,3	0,5	0,0
Solar	7	0,2		3,0	14,9
Eólica	617	18,9		41,4	7,1
Hidrogénio	29	0,9		10,7	14,3
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3590</b>	<b>100,0</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>
<i>Térmica da qual:</i>	853	23,8	1,9	0,0	0,9
Carvão	328	9,1	3,8	-1,2	-0,3
Gás Natural	380	10,6	4,1	0,6	-1,8
Biomassa	120	3,3	1,8	7,8	0,4
Nuclear	1767	49,2	4,2	3,4	3,4
Hídrica + Geotérmica	175	4,9	0,3	0,9	0,0
Solar	293	8,2		36,1	8,8
Eólica	289	8,1		16,6	1,8
Hidrogénio	213	5,9		26,9	15,8
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>21058</b>	<b>100,0</b>	<b>7,2</b>	<b>4,0</b>	<b>2,9</b>
<i>Térmica da qual:</i>	8122	38,6	7,6	3,1	0,2
Carvão	5070	24,1	7,9	2,1	0,0
Gás Natural	2334	11,1	11,5	6,0	0,3
Biomassa	596	2,8		7,9	1,8
Nuclear	8175	38,8	8,0	8,5	6,8
Hídrica + Geotérmica	1750	8,3	5,0	2,7	1,5
Solar	252	1,2		4,8	16,4
Eólica	2391	11,4	35,8	20,8	6,9
Hidrogénio	367	1,7		14,2	19,3
<b>África (d)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>7644</b>	<b>100,0</b>	<b>4,7</b>	<b>4,2</b>	<b>4,5</b>
<i>Térmica da qual:</i>	3616	47,3	5,0	3,7	1,8
Carvão	903	11,8	4,3	3,4	0,7
Gás Natural	2235	29,2	7,5	4,2	2,4
Biomassa	388	5,1		41,1	8,2
Nuclear	1975	25,8	2,9	15,8	10,3
Hídrica + Geotérmica	246	3,2	2,9	1,7	1,6
Solar	548	7,2		22,0	12,9
Eólica	968	12,7		22,4	13,0
Hidrogénio	292	3,8		11,1	21,7
<b>América Latina</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>4050</b>	<b>100,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	<b>2,5</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1466	36,2	5,6	3,4	1,0
Carvão	289	7,1	6,8	7,3	-0,5
Gás Natural	810	20,0	10,0	2,5	1,0
Biomassa	330	8,1	10,8	5,5	4,3
Nuclear	458	11,3	3,6	9,8	5,3
Hídrica + Geotérmica	1148	28,3	2,6	1,6	1,2
Solar	43	1,1		8,5	18,0
Eólica	876	21,6		27,2	6,9
Hidrogénio	60	1,5		11,6	18,9

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis (a) inclui Rússia (b) inclui Japão (c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: DPP, adaptado OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Caixa A6: Cenários Hidrogénio e TECH Plus para a Procura de Energia e Geração de Electricidade

Cenário: <b>Hidrogénio</b>	Cenário: <b>TECH Plus</b>
<p>O consumo final de energia, cresce a um ritmo progressivamente inferior, passando de 1,3% ao ano entre 1990 e 2010 para 0,8% ao ano entre 2030 e 2050, mantendo uma tendência de evolução semelhante ao cenário de referência e ligeiramente diferente da do cenário com restrições de carbono.</p> <p>O crescimento do consumo é claramente inferior ao crescimento do produto gerado na economia mundial, o que pressupõe um aumento da eficiência energética.</p> <p>Em 2050, a maior proporção do consumo de energia continua a ser nos edifícios residenciais, de serviços e agricultura (47%, 30% da indústria e 23% dos transportes) sendo este segmento aquele que cresce sempre acima da média. Contudo, há aqui uma diminuição do peso do consumo de energia pela indústria em favor do consumo dos transportes.</p> <p>A geração de electricidade também mantém um ritmo de crescimento semelhante ao do produto da economia, acima dos 2,5% ao ano de 1990 a 2050.</p> <p>Mantém-se a alteração na estrutura do consumo de energia preconizada no cenário com restrições de carbono: o carvão mantém o seu peso em 15%, a energia nuclear aumenta de importância (mais 3 p.p. – 37%), hidrogénio situa-se em 2% do total do consumo e as renováveis mantêm a sua importância 30%.</p> <p>Apesar da mudança de paradigma energético para a economia do hidrogénio, a produção térmica da electricidade continua a ser importante e está associada a tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>.</p>	<p>O consumo final de energia, conjuga dois efeitos distintos: uma redução do consumo de petróleo e um aumento do consumo de energia para produzir biocombustíveis e hidrogénio.</p> <p>Em 2050, 24% do consumo final de energia é realizado pela electricidade (+1 p.p.), 17% por outras transformações de combustível (+3 p.p.) e reduz-se a parcela do consumo de energia dos edifícios residenciais e serviços, transportes e indústria.</p> <p>A redução de custos das pilhas de combustível a hidrogénio reforçou a penetração no mercado dos veículos limpos.</p> <p>A alteração na estrutura da geração de electricidade é consolidada: diminui 6 p.p. a utilização do carvão (20%) e em 3 p.p. a do gás natural (20%), aumenta a proporção de electricidade gerada a partir de energia nuclear (5 p.p. – 22%), hídrica e as outras renováveis mantêm-se em 15% a e biomassa em 5%.</p> <p>Neste cenário a produção de electricidade aumenta motivada pela utilização descentralizada de electrólises para produzir hidrogénio. As centrais de produção de electricidade a carvão utilizam tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> e os custos da utilização das energias renováveis, principalmente, eólica e solar reduz-se significativamente, tornando economicamente competitiva a geração de electricidade a partir destas fontes primárias de energia.</p>

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).



**Quadro A11: A Procura Energética – Cenário Hidrogénio**

	Mtoe em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1611</b>	<b>100,0</b>			
Carvão	35	2,2	-3,3	-1,8	-2,2
Petróleo	568	35,3	0,4	0,3	-0,7
Gás Natural	205	12,7	1,3	-0,9	-1,1
Electricidade	593	36,8	1,9	1,5	1,9
Biomassa	78	4,8	1,8	0,1	1,0
Calor	53	3,3	-0,2	0,3	0,3
Hidrogénio	79	4,9		16,6	8,5
<b>América Norte</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1920</b>	<b>100,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>	<b>-0,3</b>
Carvão	12	0,6	-1,9	-4,4	-1,8
Petróleo	702	36,6	1,0	0,5	-2,0
Gás Natural	282	14,7	0,9	-0,4	-1,2
Electricidade	668	34,8	2,5	0,8	1,5
Biomassa	73	3,8	4,3	0,6	-0,4
Calor	13	0,7	7,2	0,1	0,1
Hidrogénio	170	8,9		11,5	10,4
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>821</b>	<b>100,0</b>	<b>-1,9</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>
Carvão	27	3,3	-4,7	-1,3	-2,1
Petróleo	147	17,9	-3,9	0,6	-0,6
Gás Natural	196	23,9	-1,6	0,1	-0,2
Electricidade	241	29,4	-0,4	2,6	1,9
Biomassa	35	4,3	-4,7	-0,1	8,4
Calor	156	19,0	1,7	0,0	0,0
Hidrogénio	18	2,2		18,5	9,9
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>579</b>	<b>100,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>
Carvão	21	3,6	-0,3	-2,6	-1,0
Petróleo	209	36,1	0,4	-0,1	-0,6
Gás Natural	48	8,3	2,7	1,4	-0,9
Electricidade	257	44,4	2,2	1,8	1,8
Biomassa	10	1,7	-0,7	-2,3	4,0
Calor	3	0,5	0,0	1,1	1,5
Hidrogénio	32	5,5		15,2	10,2
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>5215</b>	<b>100,0</b>	<b>3,3</b>	<b>2,4</b>	<b>1,1</b>
Carvão	601	11,5	1,9	1,1	-1,4
Petróleo	1985	38,1	5,7	3,4	0,7
Gás Natural	441	8,5	8,7	3,9	0,1
Electricidade	1434	27,5	7,3	4,0	2,8
Biomassa	352	6,7	-0,2	-1,3	-0,3
Calor	31	0,6	4,4	0,0	0,0
Hidrogénio	370	7,1		24,7	13,1
<b>África (d)</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>1575</b>	<b>100,0</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5</b>
Carvão	26	1,7	1,8	2,1	-2,4
Petróleo	622	39,5	0,9	3,2	1,9
Gás Natural	216	13,7	5,7	0,8	1,4
Electricidade	506	32,1	5,0	4,0	4,4
Biomassa	134	8,5	-0,2	-2,2	1,0
Calor	1	0,1	2,6	0,0	0,0
Hidrogénio	70	4,4		22,8	13,8
<b>América Latina</b>					
<b>Consumo Final</b>	<b>919</b>	<b>100,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>
Carvão	7	0,8	1,7	0,8	-5,4
Petróleo	318	34,6	0,3	2,4	0,0
Gás Natural	107	11,6	4,1	2,1	-1,0
Electricidade	275	29,9	3,9	3,2	2,4
Biomassa	118	12,8	0,8	-0,1	1,3
Calor	0	0,0		0,0	0,0
Hidrogénio	94	10,2		18,2	12,0

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não dispôr (a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

## Quadro A12: A Geração de Electricidade – Cenário Hidrogénio

	TWh em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>8845</b>	<b>100,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>
<i>Térmica da qual:</i>	2488	28,1	2,2	0,6	-0,4
Carvão	633	7,2	0,2	-1,6	-1,1
Gás Natural	1465	16,6	8,0	1,8	-0,2
Biomassa	360	4,1	10,4	5,4	0,7
Nuclear	3942	44,6	1,2	2,3	4,6
Hídrica + Geotérmica	743	8,4	1,2	0,4	0,3
Solar	591	6,7	15,6	27,1	16,4
Eólica	838	9,5	29,0	8,1	1,7
Hidrogénio	243	2,7		24,1	16,1
<b>América Norte</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>9233</b>	<b>100,0</b>	<b>2,2</b>	<b>0,8</b>	<b>1,6</b>
<i>Térmica da qual:</i>	3981	43,1	2,8	0,0	-0,3
Carvão	1525	16,5	0,9	-1,7	0,1
Gás Natural	1738	18,8	7,9	1,0	-1,1
Biomassa	685	7,4	2,0	6,6	1,9
Nuclear	2474	26,8	1,3	0,5	4,7
Hídrica + Geotérmica	782	8,5	0,1	0,9	0,3
Solar	523	5,7	-10,0	38,5	12,0
Eólica	1352	14,6	13,5	15,8	3,2
Hidrogénio	120	1,3		28,0	15,6
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3573</b>	<b>100,0</b>	<b>-0,4</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1179	33,0	-0,9	1,4	-0,9
Carvão	377	10,6	-1,3	1,5	-0,8
Gás Natural	627	17,5	0,7	0,9	-1,3
Biomassa	169	4,7	3,1	7,0	0,6
Nuclear	1538	43,0	0,9	5,2	4,0
Hídrica + Geotérmica	273	7,6	0,3	0,5	0,0
Solar	5	0,1		2,9	13,4
Eólica	555	15,5		38,4	8,8
Hidrogénio	22	0,6		10,2	13,1
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3582</b>	<b>100,0</b>	<b>2,3</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>
<i>Térmica da qual:</i>	863	24,1	1,9	-0,1	-0,7
Carvão	340	9,5	4,0	-0,7	-0,8
Gás Natural	392	10,9	3,8	0,2	-1,0
Biomassa	119	3,3	1,8	7,6	0,5
Nuclear	1827	51,0	4,3	3,6	3,3
Hídrica + Geotérmica	185	5,2	0,3	1,1	0,1
Solar	275	7,7		35,7	8,8
Eólica	275	7,7		16,5	1,7
Hidrogénio	156	4,4		24,8	16,0
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>21340</b>	<b>100,0</b>	<b>7,3</b>	<b>4,0</b>	<b>2,8</b>
<i>Térmica da qual:</i>	7882	36,9	7,7	2,1	0,8
Carvão	5304	24,9	8,2	0,7	1,3
Gás Natural	1911	9,0	11,5	5,9	-0,5
Biomassa	568	2,7		7,9	1,8
Nuclear	9295	43,6	8,7	10,9	4,5
Hídrica + Geotérmica	1664	7,8	5,0	2,6	1,4
Solar	165	0,8		4,5	15,0
Eólica	2178	10,2	35,4	20,0	7,4
Hidrogénio	157	0,7		12,8	15,7
<b>África (d)</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>6924</b>	<b>100,0</b>	<b>4,7</b>	<b>4,0</b>	<b>4,3</b>
<i>Térmica da qual:</i>	3456	49,9	4,9	2,8	2,4
Carvão	833	12,0	4,2	2,7	1,1
Gás Natural	2172	31,4	7,4	3,2	3,3
Biomassa	376	5,4		39,2	9,6
Nuclear	1759	25,4	3,3	19,4	5,9
Hídrica + Geotérmica	240	3,5	2,9	1,7	1,5
Solar	463	6,7		20,5	13,4
Eólica	836	12,1		20,8	13,6
Hidrogénio	170	2,5		10,4	19,1
<b>América Latina</b>					
<b>Geração Electricidade</b>	<b>3882</b>	<b>100,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>
<i>Térmica da qual:</i>	1351	34,8	5,6	3,0	1,0
Carvão	359	9,2	7,0	7,4	0,4
Gás Natural	654	16,8	9,9	1,8	0,7
Biomassa	308	7,9	10,9	5,5	3,9
Nuclear	591	15,2	3,6	11,5	5,0
Hídrica + Geotérmica	1111	28,6	2,6	1,6	1,1
Solar	35	0,9		8,3	17,1
Eólica	764	19,7		26,2	6,9
Hidrogénio	30	0,8		10,8	15,8

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Caixa A7: Cenário de Referência para as Emissões de CO<sub>2</sub>

WETO – H2	TECH
<p>Projeção de Referência:</p> <p>As emissões de CO<sub>2</sub> apresentam uma tendência para diminuir progressivamente, variando positivamente, de 2030 a 2050, em 0,7 ao ano.</p> <p>Neste cenário e em 2050, a geração de electricidade é responsável por 41% do total das emissões de CO<sub>2</sub>, a indústria e os edifícios residenciais e serviços por 20% cada um e os transportes emitem 19% do total de CO<sub>2</sub>.</p> <p>Apesar do aumento do carvão como fonte primária de energia, o desenvolvimento de opções energéticas não baseadas em combustíveis fósseis compensou o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> que a utilização do carvão implica.</p> <p>As tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> representam 5,7% do total de emissões e crescem, por ano, entre 2030 e 2050, a 11,9% ao ano.</p>	<p>Cenário de Referência:</p> <p>Neste cenário e em 2050, a geração de electricidade é responsável por 47% do total das emissões de CO<sub>2</sub>, os transportes emitem 20%, a indústria 11%, os edifícios residenciais e serviços 9% e as outras transformações de combustível 13%.</p> <p>Apesar do aumento da utilização de carvão e de gás natural na produção de electricidade, a intensidade energética aumenta marginalmente devido ao aumento da eficiência das centrais de combustão.</p> <p>As emissões de CO<sub>2</sub> realizadas pelos transportes, são resultado, em parte, da introdução de combustíveis sintéticos baseados no carvão.</p>

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Quadro A13: As Emissões de CO<sub>2</sub> e o Sistema Energético no Mundo

CENÁRIO DE REFERÊNCIA					
	WETO - H2		TECH		
	Mt CO2 em 2050	%	Mt CO2 em 2050	%	
Geração Electricidade	16065	36,3	Geração Electricidade	26294	45,6
Indústria	7971	18,0	Outras Transformações Combustível	7603	13,2
Transportes	7263	16,4	Indústria	6512	11,3
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	7891	17,8	Transportes	11733	20,4
Outros	5107	11,5	Edifícios Residenciais e Serviços	5469	9,5
TOTAL	44297	100,0	TOTAL	57611	100,0
Captura CO2	2545	5,7			
CENÁRIOS RESTRIÇÕES DE CARBONO e ACT MAP					
Geração Electricidade	4454	10,1	Geração Electricidade	7324	12,7
Indústria	4837	10,9	Outras Transformações Combustível	2696	4,7
Transportes	5850	13,2	Indústria	3501	6,1
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	6617	14,9	Transportes	8486	14,7
Outros	3701	8,4	Edifícios Residenciais e Serviços	3552	6,2
TOTAL	25459	100,0	TOTAL	25559	100,0
Captura CO2	6442	25,3			
CENÁRIOS HIDROGÉNIO e TECH PIUS					
Geração Electricidade	4073	14,9	Geração Electricidade	5119	25,4
Indústria	5307	19,4	Outras Transformações Combustível	2074	10,3
Transportes	5660	20,7	Indústria	3501	17,3
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	7698	28,2	Transportes	5946	29,5
Outros	4557	16,7	Edifícios Residenciais e Serviços	3550	17,6
TOTAL	27295	100,0	TOTAL	20190	100,0
Captura CO2	6863	25,1			

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Quadro A14: As Emissões de CO<sub>2</sub> – Cenário de Referência

	Mt CO <sub>2</sub> em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>3963</b>	<b>100,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,7</b>
Geração Electricidade	1454	36,7	-0,1	0,1	-0,5
Indústria	596	15,0	-1,3	-0,2	-0,9
Transportes	900	22,7	1,4	0,0	-1,0
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	811	20,5	-0,1	0,4	-0,3
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>529</b>	<b>13,3</b>			<b>5,0</b>
<b>América Norte</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>6427</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,5</b>
Geração Electricidade	2937	45,7	1,4	0,5	-0,2
Indústria	496	7,7	-1,3	-0,7	-0,4
Transportes	1688	26,3	1,5	0,2	-1,0
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	611	9,5	0,7	0,2	-1,2
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>639</b>	<b>9,9</b>			<b>21,3</b>
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>2782</b>	<b>100,0</b>	<b>-1,6</b>	<b>1,0</b>	<b>-0,3</b>
Geração Electricidade	847	30,4	-2,7	0,9	-0,5
Indústria	367	13,2	-2,9	0,6	-1,9
Transportes	199	7,2	-3,4	0,6	-0,6
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	759	27,3	-2,1	2,0	1,0
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>103</b>	<b>3,7</b>			
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>1437</b>	<b>100,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,0</b>	<b>-0,7</b>
Geração Electricidade	537	37,4	1,6	-0,2	-0,9
Indústria	296	20,6	0,3	0,2	-0,8
Transportes	327	22,8	1,6	0,1	-0,9
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	154	10,7	1,2	-0,4	-1,0
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>159</b>	<b>11,1</b>			<b>5,2</b>
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>19448</b>	<b>100,0</b>	<b>4,7</b>	<b>2,4</b>	<b>1,1</b>
Geração Electricidade	7072	36,4	5,7	2,0	1,4
Indústria	4772	24,5	4,6	1,8	0,5
Transportes	2425	12,5	4,1	3,2	1,7
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	3467	17,8	3,5	3,7	1,1
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>881</b>	<b>4,5</b>			
<b>África (d)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>7757</b>	<b>100,0</b>	<b>4,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,5</b>
Geração Electricidade	2518	32,5	3,1	3,2	2,6
Indústria	1112	14,3	3,7	1,7	1,7
Transportes	1040	13,4	2,5	2,2	2,2
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	1637	21,1	6,4	4,0	3,1
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>188</b>	<b>2,4</b>			
<b>América Latina</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>2484</b>	<b>100,0</b>	<b>2,3</b>	<b>2,3</b>	<b>0,5</b>
Geração Electricidade	700	28,2	1,2	3,2	1,0
Indústria	330	13,3	2,0	1,4	-1,4
Transportes	684	27,5	1,6	2,0	0,5
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	452	18,2	2,8	2,9	1,5
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>45</b>	<b>1,8</b>			

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

## Caixa A8: Cenários Restrições de Carbono e ACT para as Emissões de CO<sub>2</sub>

<p>Cenário: <b>Restrições de Carbono</b></p> <p>As emissões de CO<sub>2</sub> apresentam uma tendência para diminuírem progressivamente, variando negativamente, de 2030 a 2050, em 0,7 ao ano. Esta tendência é particularmente acentuada na geração de electricidade e na indústria.</p> <p>A composição dos emitentes de CO<sub>2</sub> altera-se significativamente, num quadro de redução do total de quase 20000 Mt CO<sub>2</sub>. Neste cenário, em 2050, a geração de electricidade é responsável por 20% (-21 p.p.) do total das emissões de CO<sub>2</sub>, a indústria 22%, (aumenta 2 p.p.), os edifícios residenciais e serviços por 31% (+11 p.p.) e os transportes emitem 27% do total de CO<sub>2</sub> (+8 p.p.).</p> <p>As tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> ganham uma importância crescente, representam 25,3% do total de emissões e crescem, por ano, entre 2030 e 2050, a 2,3% ao ano.</p> <p>A produção de hidrogénio torna-se cada vez mais necessária e as tecnologias relacionadas com combustíveis fósseis como a reformação a vapor do metano e a oxidação parcial do carvão deixam de ser viáveis economicamente.</p> <p>As políticas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> mais ambiciosas exigem o desenvolvimento de tecnologias energéticas relacionadas com: a eficiência energética, energias renováveis, energia nuclear, alterações na composição da geração de electricidade térmica e aplicação efectiva da captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>.</p>	<p>Cenário: <b>ACT</b> (Accelerated Technology)</p> <p>Em 2050, as emissões de CO<sub>2</sub> reduzem-se para metade, devido, em parte, a uma redução do teor em carbono da geração da electricidade.</p> <p>Assiste-se a uma alteração da composição dos emitentes de CO<sub>2</sub>, passando a electricidade a gerar 29% do total (-18 p.p.), as outras transformações de combustíveis 11% (-2 p.p.), e os transportes, indústria e edifícios residenciais e serviços a aumentarem a sua parcela de emissões de CO<sub>2</sub> (12 p.p., 3 p.p. e 5 p.p., respectivamente), representando pela mesma ordem, 32%, 14% e 14% do total.</p> <p>O aumento muito significativo do peso dos transportes nas emissões, deve-se em boa medida, à dificuldade de introdução de combustíveis com baixo teor em carbono, embora haja um aumento da eficiência energética pela introdução de medidas que melhoram: o aerodinamismo dos veículos, a eficiência energética dos pneus, a combustão interna dos veículos e a introdução de veículos híbridos.</p> <p>Apesar do aumento da proporção das emissões resultantes da actividade industrial, neste cenário, há várias melhorias introduzidas que permitiram: substituição das matérias-primas energéticas, aumento da eficiência do produto e dos processo e a utilização das tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>.</p> <p>A redução significativa das emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela electricidade resultam das alterações no <i>mix</i> de fontes de energia primária.</p> <p>Em algumas regiões do mundo, como a China, a introdução de centrais de combustão avançadas a carvão a vapor ultra supercrítico e a conjugação com tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>, aumentam significativamente a eficiência energética e as reduções das emissões.</p>
---	---

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

**Quadro A15: As Emissões de CO<sub>2</sub> – Cenário de Restrições de Carbono**

	Mt CO <sub>2</sub> em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>2566</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	582	22,7	0,1	-1,5	-1,2
Indústria	407	15,9	-0,1	-3,3	-1,6
Transportes	742	28,9	-1,3	-1,5	-1,5
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	664	25,9	1,4	-0,5	-1,4
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>595</b>	<b>23,2</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,5</b>
<b>América Norte</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>3195</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	757	23,7	1,2	-2,3	-1,3
Indústria	333	10,4	1,4	-5,2	-1,2
Transportes	1203	37,7	-1,3	-2,5	-0,5
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	485	15,2	1,5	-0,7	-1,8
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>1072</b>	<b>33,6</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,3</b>
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>1534</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	200	13,0	-1,6	-1,2	-1,1
Indústria	182	11,9	-2,7	-3,6	-3,0
Transportes	176	11,5	-2,9	-1,8	-2,9
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	611	39,8	-3,4	0,1	-0,8
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>182</b>	<b>11,9</b>	<b>-2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>0,6</b>
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>909</b>	<b>8,4</b>			
Geração Electricidade	221	2,0	1,3	-2,1	-0,8
Indústria	221	2,0	1,6	-4,4	-1,0
Transportes	278	2,6	0,3	-1,6	-0,5
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	125	1,2	1,5	-0,4	-1,2
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>195</b>	<b>1,8</b>	<b>0,9</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,0</b>
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>10794</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	1688	15,6	4,7	1,5	-0,9
Indústria	2876	26,6	5,7	-0,2	-3,5
Transportes	2033	18,8	4,6	1,2	-1,4
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	2906	26,9	4,1	3,0	1,0
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>3299</b>	<b>30,6</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>0,4</b>
<b>África (d)</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>4785</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	742	15,5	4,2	2,0	0,8
Indústria	590	12,3	3,1	1,4	-1,8
Transportes	886	18,5	3,7	1,1	-0,8
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	1434	30,0	2,5	2,0	1,5
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>823</b>	<b>17,2</b>	<b>6,4</b>	<b>3,9</b>	<b>2,5</b>
<b>América Latina</b>					
<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>	<b>1677</b>	<b>100,0</b>			
Geração Electricidade	264	15,7	2,3	1,8	-1,0
Indústria	228	13,6	1,2	2,0	-2,7
Transportes	532	31,7	2,0	1,1	-2,9
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	391	23,3	1,5	1,8	-0,5
<b>Captura CO<sub>2</sub></b>	<b>276</b>	<b>16,5</b>	<b>2,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,9</b>

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

### Caixa A9: Cenários Hidrogénio e TECH Plus para as Emissões de CO<sub>2</sub>

<p><b>Cenário: Hidrogénio</b></p> <p>As emissões de CO<sub>2</sub> apresentam uma tendência para diminuir progressivamente, variando negativamente, de 2030 a 2050, em 0,8 ao ano. Esta tendência é particularmente acentuada na geração de electricidade e na indústria.</p> <p>A composição dos emitentes de CO<sub>2</sub> sofre ajustamentos, num quadro de ligeira subida das emissões de CO<sub>2</sub> em mais de 1000 Mt CO<sub>2</sub>. Neste cenário, em 2050, a geração de electricidade é responsável por 18% (-2 p.p.) do total das emissões de CO<sub>2</sub>, a indústria 23%, (aumenta 1 p.p.), os edifícios residenciais e serviços por 34% (+3 p.p.) e os transportes emitem 25% do total de CO<sub>2</sub> (-2 p.p.).</p> <p>As tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> mantêm a sua importância, representam 25,1% do total de emissões e crescem, por ano, entre 2030 e 2050, a 4,4% ao ano.</p> <p>A produção de hidrogénio é compatível com as políticas de protecção ambiental de estabilização das emissões de CO<sub>2</sub> em 550 ppm. Há um ligeiro aumento da procura global da energia, devido a uma oferta mais barata.</p>	<p><b>Cenário: TECH Plus</b></p> <p>Em 2050, as emissões de CO<sub>2</sub> reduzem-se ainda mais, comparativamente aos dois cenários anteriores.</p> <p>Assiste-se a um ajustamento na estrutura de emissões de CO<sub>2</sub>, passando a electricidade a gerar 25% do total (-4 p.p.), as outras transformações de combustíveis 10% (-1 p.p.), os transportes 30% (-2 p.p.) e a indústria e edifícios residenciais e serviços a aumentarem a sua parcela de emissões de CO<sub>2</sub> (3 p.p. e 4 p.p. respectivamente), representando pela mesma ordem, 17% e 18% do total.</p> <p>A redução progressiva das emissões produzidas pelos transportes está relacionada, em parte, com a utilização adicional de biocombustíveis e da introdução do hidrogénio numa dimensão mais significativa.</p>
--	--

Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).

Quadro A16: As Emissões de CO<sub>2</sub> – Cenário Hidrogénio

	Mt CO2 em 2050	%	WETO - H2		
			1990/2010*	2010/2030*	2030/2050*
<b>Europa</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>2841</b>	<b>100,0</b>	<b>0,1</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,2</b>
Geração Electricidade	548	19,3	0,0	-3,1	-2,2
Indústria	428	15,1	-1,3	-1,2	-1,5
Transportes	914	32,2	1,3	0,3	-1,0
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	755	26,6	0,0	0,0	-0,4
<b>Captura CO2</b>	<b>498</b>	<b>17,5</b>			<b>0,9</b>
<b>América Norte</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>3620</b>	<b>100,0</b>	<b>1,4</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,9</b>
Geração Electricidade	723	20,0	1,6	-4,9	-1,9
Indústria	352	9,7	-1,2	-2,1	-0,7
Transportes	1435	39,6	1,7	0,8	-2,6
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	619	17,1	0,8	0,0	-1,0
<b>Captura CO2</b>	<b>1171</b>	<b>32,3</b>			<b>0,4</b>
<b>Comunidade Estados Independentes (a)</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>1612</b>	<b>100,0</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,1</b>
Geração Electricidade	202	12,5	-2,5	-3,5	-3,3
Indústria	194	12,0	-2,9	-1,4	-3,1
Transportes	157	9,7	-4,7	0,7	-0,6
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	637	39,5	-1,6	1,0	0,5
<b>Captura CO2</b>	<b>324</b>	<b>20,1</b>			<b>0,7</b>
<b>Pacífico (b)</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>926</b>	<b>100,0</b>	<b>1,2</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,0</b>
Geração Electricidade	181	19,5	1,7	-4,6	-1,9
Indústria	236	25,5	0,2	-1,0	-0,6
Transportes	297	32,1	0,7	0,4	-0,8
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	139	15,0	1,3	-0,8	-1,2
<b>Captura CO2</b>	<b>238</b>	<b>25,7</b>			<b>-0,3</b>
<b>Ásia (c)</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>11850</b>	<b>100,0</b>	<b>4,8</b>	<b>1,7</b>	<b>-0,7</b>
Geração Electricidade	1511	12,8	5,9	-0,3	-4,1
Indústria	3176	26,8	4,4	1,5	-1,0
Transportes	2124	17,9	3,2	4,3	0,9
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	3578	30,2	4,4	3,5	0,6
<b>Captura CO2</b>	<b>3478</b>	<b>29,4</b>			<b>9,0</b>
<b>África (d)</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>4190</b>	<b>100,0</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	<b>0,8</b>
Geração Electricidade	675	16,1	3,0	1,4	-2,2
Indústria	673	16,1	3,7	1,3	-0,3
Transportes	252	6,0	-4,2	2,5	1,5
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	1532	36,6	6,8	3,8	2,6
<b>Captura CO2</b>	<b>830</b>	<b>19,8</b>			<b>10,5</b>
<b>América Latina</b>					
<b>Emissões de CO2</b>	<b>1656</b>	<b>100,0</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	<b>-0,7</b>
Geração Electricidade	233	14,1	1,2	1,4	-2,8
Indústria	249	15,0	1,9	1,3	-2,6
Transportes	480	29,0	-0,5	2,8	0,0
Edifícios Residenciais, Serviços e Agricultura	438	26,4	3,0	3,0	1,1
<b>Captura CO2</b>	<b>325</b>	<b>19,6</b>			<b>5,1</b>

\* Taxa de variação anual

N.D. Valores não disponíveis

(a) inclui Rússia

(b) inclui Japão

(c) inclui China e Índia

(d) inclui o Médio Oriente

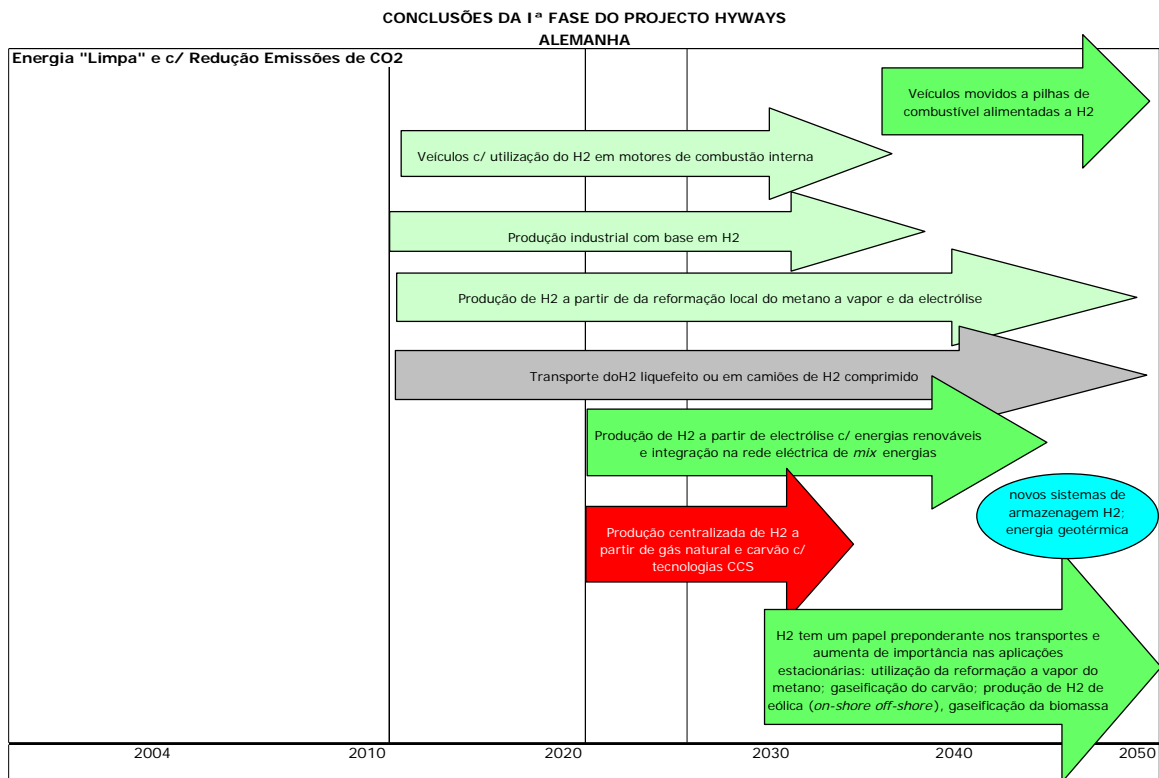
Fonte: Elaborado com base em OCDE (2006) e Comissão Europeia (2006).



## ROADMAPS TECNOLÓGICOS DO HIDROGÉNIO – PAÍSES EUROPEUS

**Alemanha:** o hidrogénio será produzido com base no carvão, gás natural com incorporação de tecnologias CCS, biomassa e energia eólica; para além de 2040 a energia geotérmica terá um papel importante e existem novos sistemas de armazenagem de CO<sub>2</sub>. As tecnologias de produção preponderantes são a reformação e a gaseificação; torna-se plena a integração do *mix* de fontes de energia na rede eléctrica e o transporte e distribuição de hidrogénio será pela liquefacção em gasodutos ou pelo transporte em camiões sob a forma de gás comprimido. Depois de 2030, as pilhas de combustível alimentadas a hidrogénio são dominantes.

**Figura A1: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – Alemanha**



Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

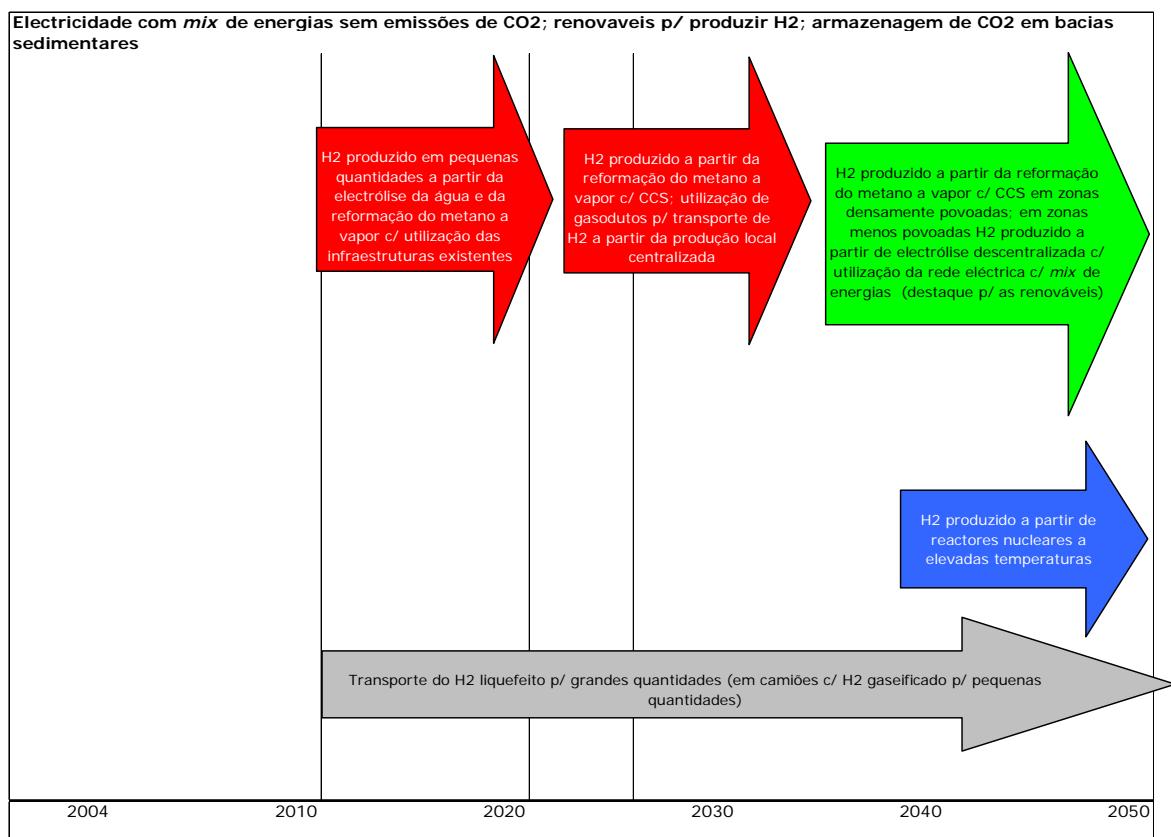
CCS - tecnologias de captura e armazenagem de CO<sub>2</sub>

H2 - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

**França:** ainda mais simplificado do que a visão da Alemanha, as fontes de energia base do sistema são o gás natural e a electricidade produzida a partir de mix de energias com destaque para as energias renováveis. A tecnologia de produção privilegiada é a reformação a vapor com tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>. Depois de 2040, os reactores nucleares serão utilizados para produzir hidrogénio e as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser armazenadas em bacias sedimentares.

**Figura A2: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – França**



Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

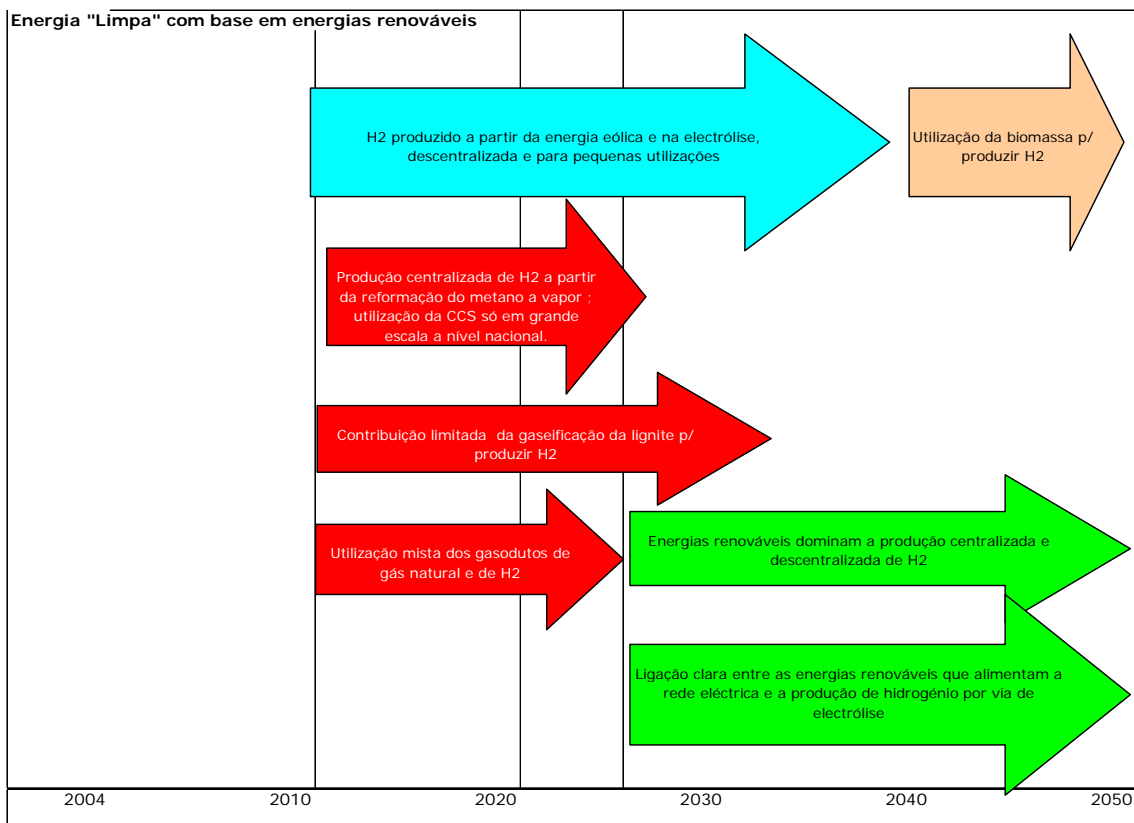
CCS - tecnologias de captura e armazenagem de CO<sub>2</sub>

H<sub>2</sub> - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

**Grécia:** partindo do gás natural e do carvão (mas limitado), as fontes de energia primária principais serão as energias renováveis, também pela integração de várias fontes de energia na rede eléctrica. A tecnologia utilizada em primeiro lugar será a reformação a vapor e o início da distribuição do hidrogénio será pela utilização mista dos gasodutos com gás natural e hidrogénio.

**Figura A3: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – Grécia**



**Legenda:**

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

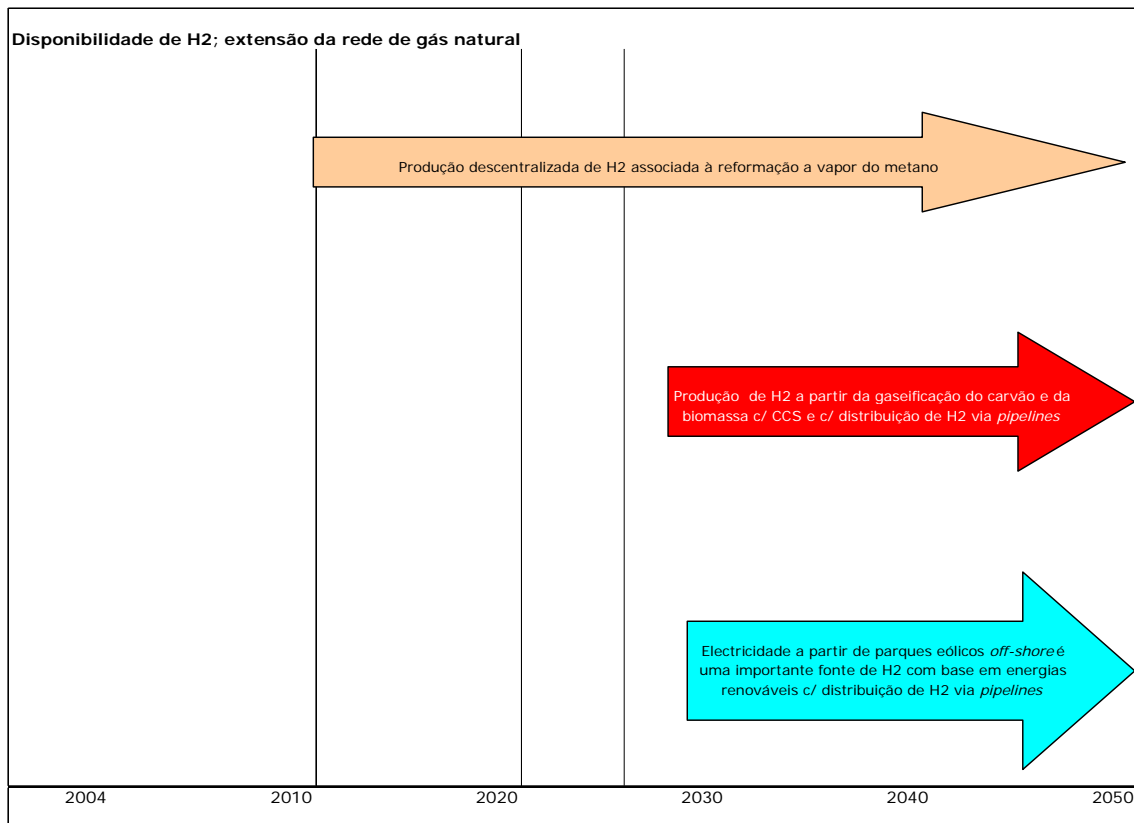
CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2

H2 - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

**Países Baixos:** é uma visão muito simplificada em que a produção de hidrogénio está associada ao gás natural, pela reformação a vapor. Depois de 2030 a gaseificação do carvão e da biomassa com tecnologias CCS são importantes para produzir hidrogénio e os parques eólicos *off-shore* têm um contributo relevante para o novo sistema energético.

**Figura A4: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – Países Baixos**



Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

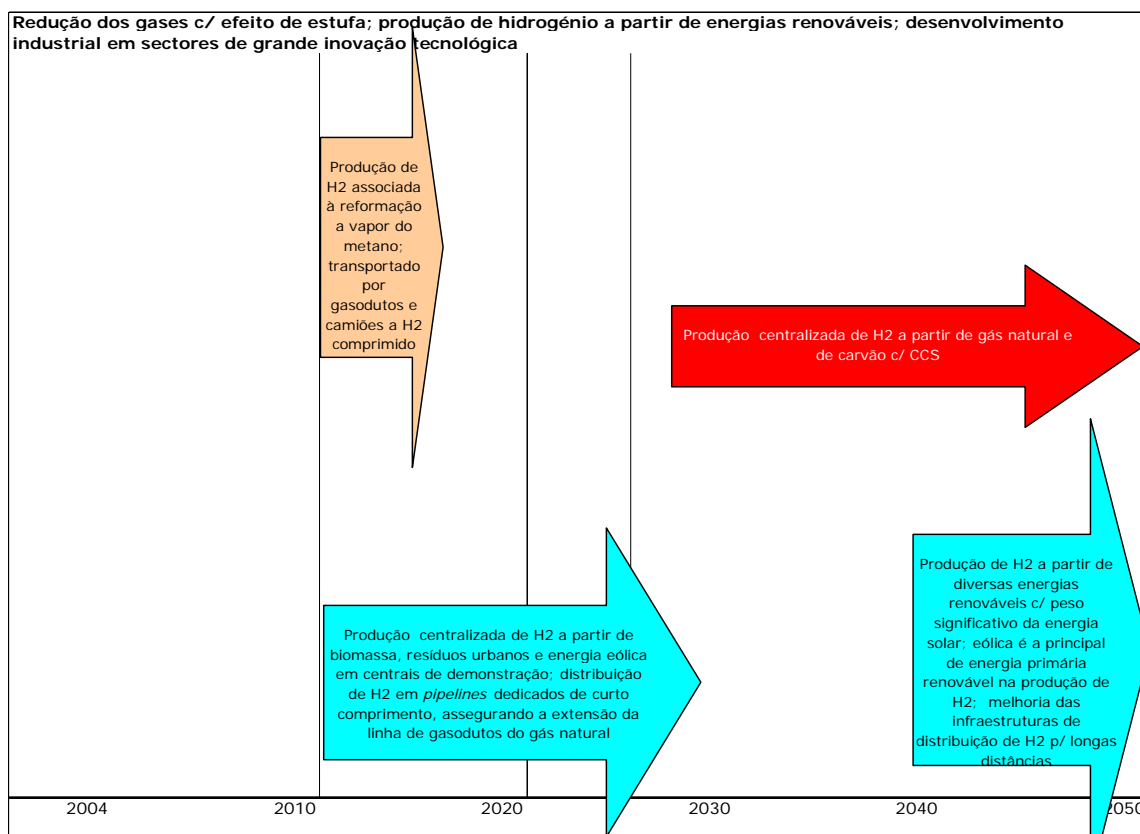
CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2

H2 - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

**Itália:** a produção de hidrogénio em 2010 será predominantemente baseada em gás natural e carvão (pela reformação a vapor) e em pequena escala pela utilização da biomassa, resíduos urbanos e energia eólica. A partir de 2040 é que a energia eólica é a principal fonte de energia renovável na produção de hidrogénio.

**Figura A5: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – Itália**



Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

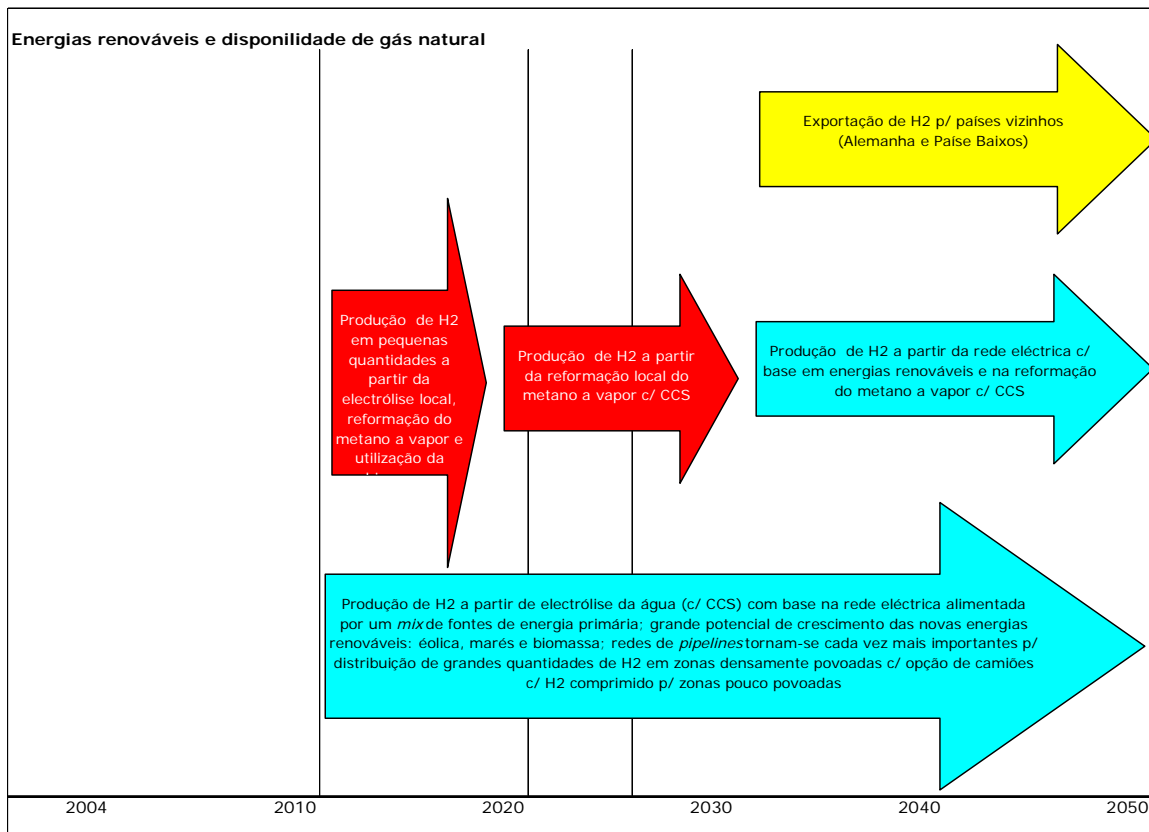
CCS - tecnologias de captura e armazenagem de CO2

H2 - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).

**Noruega:** a produção de hidrogénio irá basear-se em gás natural e em energias renováveis, especialmente, energia eólica, marés e biomassa, sendo a exportação da produção para a Alemanha e Países Baixos relevante. A rede eléctrica alimentada por várias fontes de energia e a reformação a vapor são as principais vias de produzir hidrogénio.

**Figura A6: Conclusões da 1ª Fase do Projecto Hyways – Noruega**



Legenda:

As cores significam que quanto mais próxima for do azul ou verde mais eficiente do ponto de vista de consumo de energia e menos poluente é a tecnologia

CCS - tecnologias de captura e armazenamento de CO2

H2 - hidrogénio

Fonte: Elaborado com base em HyWays - European Roadmap Phase I Conclusions (2006).