

produção de **hidrogénio**  
usando **catalisadores biológicos**

Mónica Martins e Inês A. C. Pereira,  
Instituto de Tecnologia Química e Biológica António Xavier (ITQB NOVA)  
Universidade Nova de Lisboa

**Portugal** na carruagem **dianteira**  
do “**comboio**” do **hidrogénio**

da **biomassa** ao **hidrogénio**

Bruna Soares, Amadeu Borges

**hidrogénio**

# produção de hidrogénio usando catalisadores biológicos

Atualmente, mais de 85% da energia consumida é proveniente dos combustíveis fósseis<sup>1</sup>. O terrível impacto ambiental do uso destes recursos, associada à limitação das suas reservas, obriga-nos a investigar um cenário energético mais sustentável e amigável ao ambiente, que funcione com base num sistema isento de carbono.

Mónica Martins e Inês A. C. Pereira

Instituto de Tecnologia Química e Biológica António Xavier (ITQB NOVA)

Universidade Nova de Lisboa

Uma alternativa promissora é a utilização de hidrogénio<sup>1</sup>. Este composto é um veículo energético com um teor de energia por unidade de peso superior a qualquer outro combustível (Tabela I), e pode ser facilmente utilizado em células de combustível para produzir eletricidade<sup>2</sup>. O hidrogénio é um combustível “limpo” pois a sua utilização é isenta da produção de gases de estufa, como o dióxido de carbono, sendo água o único produto resultante<sup>1,2</sup>. Estas características fazem do hidrogénio o veículo de energia de eleição para ser usado num sistema de transportes, substituindo o uso dos combustíveis fósseis. Está previsto que a partir de 2018 mais de 3000 veículos movidos a H<sub>2</sub> serão produzidos por ano só pela Toyota, e que mais de 1000 estações de abastecimento de H<sub>2</sub> serão construídas por toda a Europa até 2023.

Atualmente o hidrogénio é ainda maioritariamente produzido a partir de combustíveis fósseis, sendo cerca de 40% produzido a partir do gás natural, 30% a partir do petróleo, 18% a partir do carvão e 4% a partir da eletrólise da água<sup>2</sup>. No entanto, para que um sistema energético baseado em hidrogénio seja sustentável é necessário que este seja produzido de uma forma amigável ao ambiente. A produção biológica de hidrogénio (BioH<sub>2</sub>) é uma abordagem muito promissora pois os processos biológicos ocorrem à temperatura e pressão ambiente e têm baixos custos de investimento<sup>1,2</sup>. O BioH<sub>2</sub> é também superior a outros biocombustíveis, pois a sua conversão em eletricidade é duas vezes mais eficiente do que a queima de um biocombustível à base de carbono e não são emitidos poluentes para a atmosfera<sup>3</sup>.

Combustível	Teor de energia (kJ/g)
Hidrogénio	141,9
Metano	55,5
Gasolina	47,5
Gasóleo	44,8
Metanol	20,0

Tabela I Teor de energia de vários combustíveis. Valores publicados por Dincer e Acar, 2015<sup>2</sup>.

A produção biológica de H<sub>2</sub> começou a ser investigada nos anos 80 e até ao momento diversas tecnologias têm sido desenvolvidas, com base nos processos biológicos de biofotólise, foto-fermentação e fermentação escura<sup>3</sup> (Figura 1).

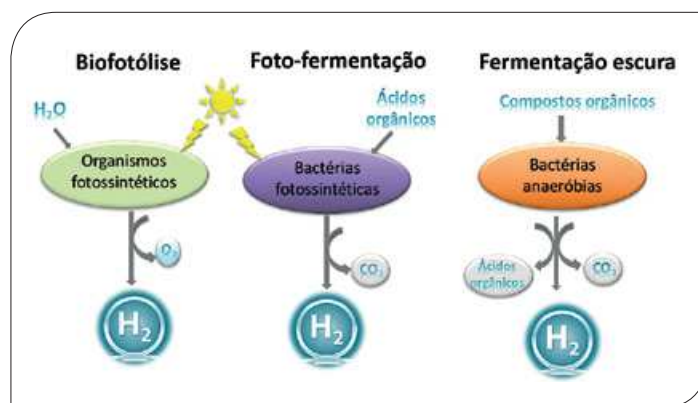


Figura 1 Processos biológicos para produção de hidrogénio.

## Biofotólise

Nos processos de biofotólise organismos fotossintéticos, tais como as algas ou cianobactérias, produzem hidrogénio a partir de água e energia solar. Este processo tem a vantagem do hidrogénio ser produzido a partir de uma fonte energética renovável e infinita (a luz solar), mas tem desvantagens importantes tais como a necessidade de uma grande área superficial para a captação de luz suficiente, e a baixa eficiência de conversão da energia solar em BioH<sub>2</sub>. Outra limitação destes processos reside no facto de as hidrogenases presentes nestes organismos, as enzimas responsáveis pela produção de H<sub>2</sub>, serem bastante sensíveis ao oxigénio produzido durante a biofotólise levando à sua inativação. Diferentes estratégias têm sido desenvolvidas para melhorar os processos biológicos de biofotólise, nomeadamente através da engenharia genética para criar organismos com maior capacidade de fixar a energia solar e para modificar as hidrogenases de forma a aumentar a sua tolerância ao oxigénio.

### Foto-fermentação

A produção de hidrogénio pela foto-fermentação é realizada por bactérias heterotróficas fotossintéticas que têm a capacidade de converter compostos orgânicos (como ácido acético, láctico e butírico) em hidrogénio e dióxido de carbono, usando a luz solar como fonte de energia. As bactérias mais estudadas para este fim são *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodobacter capsulatus* e *Rhodospseudomonas palustris*, que ao contrário das algas não conseguem fixar  $\text{CO}_2$  e fazer a fotólise da água<sup>3</sup>. No entanto conseguem usar resíduos orgânicos como fonte de carbono, podendo o processo foto-fermentativo ser usado simultaneamente para o tratamento de águas residuais e para a produção de  $\text{H}_2$ . No entanto, de modo semelhante aos processos de biofotólise os processos foto-fermentativos têm uma baixa taxa de produção de  $\text{BioH}_2$  e baixa eficiência de conversão da luz em  $\text{BioH}_2$ . Novas abordagens têm vindo a ser desenvolvidas de forma a aumentar a produção de  $\text{BioH}_2$  por estes sistemas, nomeadamente pela utilização de uma mistura de substratos e criando bactérias fotossintéticas com uma maior capacidade de produção de  $\text{H}_2$ , através de engenharia metabólica e genética<sup>4</sup>.

### Fermentação escura

A produção biológica de hidrogénio por fermentação escura ocorre em condições anaeróbias e na ausência de luz. Neste processo a produção de  $\text{H}_2$  é realizada por bactérias anaeróbias que metabolizam substratos orgânicos, tais como a glucose ou resíduos orgânicos, produzindo hidrogénio e outros compostos orgânicos simples. Diversos tipos de bactérias conseguem fermentar substratos orgânicos em condições anaeróbias e na ausência de um aceitador de eletrões, tais como *Escherichia coli* e bactérias dos géneros *Clostridium* e *Eubacterium*.

A fermentação escura tem várias vantagens relativamente aos outros processos biológicos, nomeadamente a produção contínua de  $\text{H}_2$  independente da presença de luz, elevadas taxas de produção de  $\text{H}_2$ , simplicidade do processo e possibilidade de usar resíduos complexos como fonte de carbono. De facto, a produção de  $\text{H}_2$  a partir da fermentação de resíduos orgânicos é uma das alternativas mais promissoras para a produção de hidrogénio e poderá garantir a sustentabilidade de processos baseados em hidrogénio. Atualmente está ser estudada a produção de  $\text{BioH}_2$  baseada no conceito de "zero resíduos", em que a matéria-prima utilizada é constituída por resíduos agrícolas, resíduos da indústria alimentar e/ou lamas das estações municipais de tratamento de águas<sup>3</sup>. Tem-se também investigado bastante a produção de  $\text{BioH}_2$  a partir do glicerol, que é produzido em grandes quantidades como subproduto da indústria de biodiesel (1 Kg de glicerol por 9 Kg de biodiesel)<sup>4</sup>. Embora os valores máximos de produção de  $\text{BioH}_2$  pela fermentação do glicerol (1 mol de glicerol origina no máximo 7 moles de  $\text{H}_2$ ) sejam inferiores aos da glucose (1 mol de glucose origina no máximo 12 moles de  $\text{H}_2$ ), os custos associados à matéria-prima e transporte do glicerol são bastante inferiores relativamente aos da glucose, tornando-o numa alternativa economicamente atrativa<sup>4</sup>.

Embora a fermentação de resíduos orgânicos garanta a sustentabilidade da produção de  $\text{H}_2$ , uma das limitações do processo fermentativo é o rendimento de conversão a  $\text{H}_2$  ser limitado pela produção de outros produtos de fermentação tais como o ácido láctico, acético e butírico. Assim, para aumentar a taxa de conversão a  $\text{BioH}_2$  têm-se vindo a estudar processos combinados que utilizam duas tecnologias: a fermentação escura onde ocorre a conversão da matéria orgânica em  $\text{H}_2$  e outros produtos secundários e um segundo processo onde os subprodutos orgânicos da primeira etapa são usados como substratos para produzir  $\text{H}_2$  num foto-fermentador, ou numa célula eletrolítica microbiana<sup>3,4</sup> (Figura 2).

Nas últimas décadas têm-se vindo a realizar avanços significativos na produção biológica de  $\text{H}_2$ , nomeadamente na identificação de novos

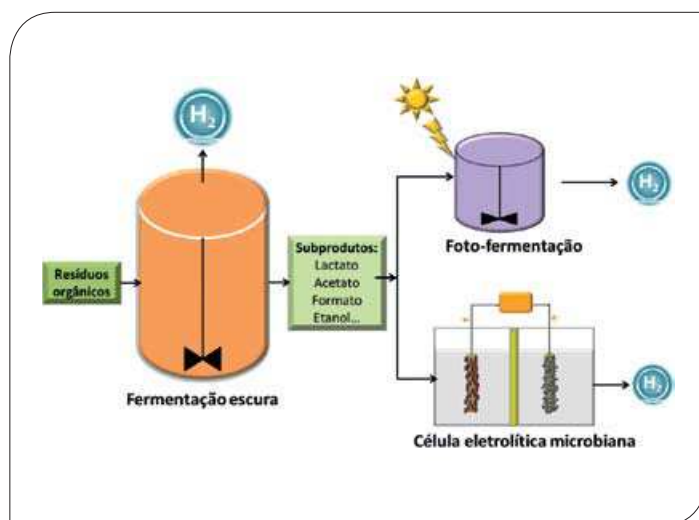


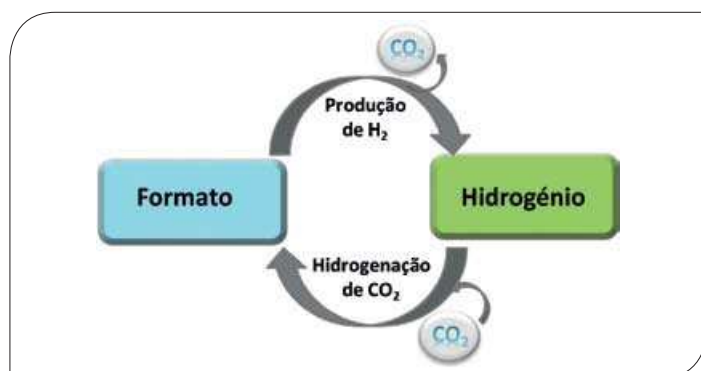
Figura 2 Processos biológicos híbridos para produção de Biohidrogénio.

microrganismos produtores, aumento da produtividade através da engenharia genética e otimização dos sistemas de produção<sup>3,4</sup>. O nosso grupo de investigação no ITQB NOVA (*Bacterial Energy Metabolism Lab*) demonstrou pela primeira vez o potencial de um novo grupo de bactérias anaeróbias como biocatalisadores para a produção de  $\text{H}_2$ : as bactérias redutoras de sulfato (BRS)<sup>5,6</sup>. Estes microrganismos são usados em processos biotecnológicos para o tratamento de efluentes contaminados com sulfato e metais, como efluentes das indústrias mineiras, e recentemente, nós demonstrámos que podem também ser usados como microrganismos produtores de  $\text{H}_2$ <sup>5,6</sup>. O seu elevado potencial para a produção de  $\text{H}_2$  é explicado pelo elevado conteúdo em hidrogenases, as enzimas responsáveis pela produção de  $\text{H}_2$ . Algumas destas enzimas apresentam propriedades particularmente interessantes, como é o caso da hidrogenase de  $[\text{NiFeSe}]$ , que tem uma atividade de produção de hidrogénio muito elevada, e alguma tolerância ao oxigénio<sup>7</sup>. Recentemente, foi desenvolvido um sistema foto-catalítico para a produção de hidrogénio usando esta hidrogenase como biocatalisador.

Um dos problemas associados ao uso de  $\text{H}_2$  é o facto de que não existe ainda uma solução economicamente viável e segura para o seu armazenamento e transporte. Neste contexto, têm sido considerados outros compostos que possam armazenar o potencial químico do hidrogénio, sendo o formato um dos candidatos mais promissores como material de armazenamento e transporte de  $\text{H}_2$ <sup>8</sup>. O formato é líquido à temperatura ambiente, não é tóxico nem inflamável e pode ser manuseado, armazenado e transportado facilmente. Para além disso, pode ser obtido por redução de  $\text{CO}_2$ , que desta forma é sequestrado e convertido num composto de valor acrescentado, que é depois usado como material para produzir e armazenar o  $\text{H}_2$  contribuindo para um sistema circular energeticamente sustentável (Figura 3).

O formato pode ser usado como substrato para a produção biológica de  $\text{H}_2$  por diversos microrganismos anaeróbios, mas o estudo da produção biológica de  $\text{H}_2$  a partir do formato está ainda no início. O nosso grupo de investigação demonstrou recentemente que as BRS são eficientes catalisadores biológicos para a conversão de formato a  $\text{BioH}_2$  e caracterizou as enzimas envolvidas nestes processos. Demonstrou-se que as espécies *Desulfovibrio vulgaris* e *Desulfovibrio desulfuricans* têm uma elevada capacidade para produzir  $\text{H}_2$  a partir do formato sendo bons candidatos a serem usados como biocatalisadores<sup>5,6</sup>.

Embora ainda seja necessário investir bastante a nível de investigação na otimização dos sistemas biológicos e bioprocessos associados, a produção biológica de  $\text{H}_2$  será certamente uma alternativa importante para



**Figura 3** Sistema baseado no formato como material de armazenamento e de produção de hidrogénio.

a obtenção de energia em processos localizados, permitindo a valorização de resíduos acoplados à produção de energia, numa perspetiva de Economia Circular.

#### Referências bibliográficas

[1] Hosseini, S. E. & Wahid, M. A. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 57, 850–866 (2016).

**A produção biológica de H<sub>2</sub> será certamente uma alternativa importante para a obtenção de energia em processos localizados, permitindo a valorização de resíduos acoplados à produção de energia, numa perspetiva de Economia Circular.**

- [2] Dincer, I. & Acar, C. Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *Int. J. Hydrogen Energy* 40, 11094–11111 (2015).
- [3] Boodhun, B. S. F., Mudhoo, A., Kumar, G., Kim, S. H. & Lin, C. Y. Research perspectives on constraints, prospects and opportunities in biohydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy* 42, 27471–27481 (2017).
- [4] Trchounian, K., Sawers, R. G. & Trchounian, A. Improving biohydrogen productivity by microbial dark- and photo-fermentations: Novel data and future approaches. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 1201–1216 (2017).
- [5] Martins, M. & Pereira, I. A. C. Sulfate-reducing bacteria as new microorganisms for biological hydrogen production. *Int. J. Hydrogen Energy* 38, 12294–12301 (2013).
- [6] Martins, M., Mourato, C. & Pereira, I. A. C. IFormate-Driven H<sub>2</sub> Production. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14655–14662 (2015).
- [7] Marques, M. C. et al. The direct role of selenocysteine in [NiFeSe] hydrogenase maturation and catalysis. *Nat. Chem. Biol.* 13, 544–550 (2017).
- [8] Enthaler, S., von Langermann, J. & Schmidt, T. Carbon dioxide and formic acid – the couple for environmental-friendly hydrogen storage? *Energy Environ. Sci.* 3, 1207 (2010). [DOI](#)

# Portugal na carruagem **dianteira** do “**comboio**” do **hidrogénio**

No passado dia 15 de novembro de 2017 o hidrogénio teve um lugar de destaque no Complexo Laboratorial da UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, com a realização do *workshop* “*Hidrogénio – Tecnologias atuais e perspetivas para o futuro*”, organizado pela UTAD/Projeto INOV@UTAD, com a co-promoção da AP2H2 – Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio.

André Mendes

O *workshop* teve início com uma receção do Pró-Reitor da UTAD, João Barroso, em nome do Reitor da instituição de Ensino, Fontainhas Fernandes, e do professor Vasco Amorim, docente e Vice-Presidente da AP2H2.

De seguida tomou a palavra Vasco Amorim para dar início ao painel “*O hidrogénio nos transportes e na indústria a caminho de 2050*”, que teve como moderador Paulo Martins do DGEG. Vasco Amorim deu o mote com a evolução e o estado da arte nesta área específica. Seguiu-se a intervenção de João Matos da Toyota Caetano Portugal, assumindo os ambiciosos projetos e objetivos da marca, nomeadamente na afirmação de que, em 2050, 90% dos veículos da Toyota tenham emissões zero. O Mirai, novo sedan da marca, teve destaque na sua intervenção, onde referiu ainda que este “*é o melhor dos dois mundos. Conseguimos reunir neste veículo o melhor do elétrico, sem os problemas do elétrico. De seguida, Carmen Rangel do LNEG apresentou o projeto H2PT, salientando a importância da criação de regulamentação, políticas, sensibilização, informação, uma boa estratégia de I&D e “um estado de arte robusto para esta área”*. A finalizar o primeiro painel a palavra foi dada a Campos Rodrigues, Presidente da AP2H2 que deu a conhecer o projeto H2SE – Hidrogénio e Sustentabilidade Energética, uma parceria entre a AP2H2, o IPP – Instituto Politécnico de Portalegre e o INEGI, que tem por objetivo a criação de um sistema energético 100% renovável, com um combustível para a mobilidade e autonomia e sustentabilidade energética.

O segundo painel deste *workshop* debruçou-se sobre “*Iniciativas para o desenvolvimento do hidrogénio através de projetos europeus*”, onde foram



apresentados diversos projetos como o HyLaw (Carlos Lopes de Sousa, STI), KnowHy (apresentado por Vasco Amorim em substituição de Ana Ferreira e Pedro Coelho), HyRegions (Hugo Lucas, Vereador da Câmara Municipal de Torres Vedras) e NextNet (Ana Barros, INESC TEC).

Para analisar as “*Perspetivas para o futuro*” na área do hidrogénio, o último painel foi desenvolvido em Mesa Redonda, com a participação de Campos Rodrigues (AP2H2), Carmen Rangel (LNEG), Paulo Martins (DGEG), João Cavaleiro (Cavaleiro & Associados), Hugo Lucas (C.M. Torres Vedras), João Matos (Toyota Caetano Portugal) e Carlos Lopes de Sousa (STI). O *workshop* encerrou com uma nota de agradecimento por parte do Pró-Reitor da UTAD, João Barroso.

Presente neste *workshop* esteve a revista “*renováveis magazine*” e, junto do Presidente da AP2H2, Campos Rodrigues, procurou conhecer o trabalho desenvolvido por esta associação na promoção do hidrogénio.

**“renováveis magazine” (rm):** Para os nossos leitores que não conhecem a AP2H2 – Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio, como é composta esta associação?

**Campos Rodrigues (CR):** A AP2H2 foi criada em 2003, na sequência da participação dos STCP no projeto CUTE de demonstração e teste de autocarros urbanos a hidrogénio (Comunidade Europeia). São as primeiras afirmações de uma comunidade nacional que considera o hidrogénio uma solução energeticamente sustentável, e que permitiria responder ao desafio





que na altura se equacionava do fim do petróleo. O hidrogénio era o sucessor natural dos hidrocarbonetos fósseis, com a vantagem adicional de ser inesgotável e ambientalmente limpa. Na criação da AP2H2 participam algumas das principais empresas do setor dos combustíveis/gases industriais (GALP, Air Liquide, Praxair, Linde, Gasin, Solvay), várias entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN) (com destaque para o IST/IDMEC que albergou

inicialmente a associação e o LNEG), além de vários sócios individuais.

Foram várias as iniciativas lançadas nesse período visando a promoção da economia e tecnologia do hidrogénio, merecendo especial destaque o projeto mobilizador EDEN (2003), promovido por um consórcio envolvendo grandes empresas (EDP, EFACEC, EEM\_ Electricidade da Madeira), pequenas empresas (SRE e Vidropol) e entidades do SCTN (LNEG, INEGI, AREAM, IST/IDMEC), e que pretendeu criar as bases para uma visão nacional sobre o contributo potencial do hidrogénio no *mix* energético nacional.

Na criação da AP2H2 merecem ainda destaque os contributos dados pela professora Graça Carvalho (IST/IDMEC) que liderou inicialmente o processo de constituição da associação, e do professor Tiago Farias (IST/IDMEC, hoje Presidente da Carris) que foi o seu primeiro Presidente.

**rm:** Qual o objetivo do trabalho desenvolvido pela AP2H2 e de que forma tem um impacto positivo na sociedade? Que atividades são desenvolvidas pela associação e a quem se destinam?

**CR:** Nos termos dos estatutos: "A associação tem por objeto promover a introdução do hidrogénio como vetor energético, apoiar o desenvolvimento das tecnologias associadas e incentivar a utilização do hidrogénio em aplicações comerciais e industriais".

Na prossecução deste objetivo compete nomeadamente à AP2H2: promover e divulgar a economia e tecnologia do hidrogénio; contribuir para que a economia do hidrogénio integre as agendas nacionais de economia, energia e sustentabilidade; divulgar as competências nacionais e promover ações que visem o desenvolvimento de competências científicas e tecnológicas nacionais relacionadas com o hidrogénio; apoiar ações que visem a contribuição do hidrogénio para o desenvolvimento económico nacional; promover e apoiar a participação de entidades nacionais em projetos europeus para o desenvolvimento e teste das tecnologias do hidrogénio; promover a formação de quadros e a literacia do público em geral no que se refere às potencialidades e oportunidades da economia e tecnologias do hidrogénio na viabilização de um novo paradigma energético sustentável; promover e colaborar na elaboração de legislação necessária a uma utilização segura do hidrogénio nas suas várias aplicações.

**rm:** A utilização de energias renováveis é, cada vez mais, uma preocupação e uma solução bastante procurada por todos os portugueses. Podemos dizer que existe uma cada vez maior consciencialização das pessoas para a utilização de um tipo de energia amigo do ambiente?



**CR:** Existe uma maior preocupação com o ambiente e os consumidores procuram soluções menos poluentes, mas também economicamente acessíveis. Por vezes os consumidores não podem adquirir produtos em Portugal que já são disponibilizados em outros países. É o caso de aplicações como os veículos a hidrogénio.

**rm:** Quais as principais vantagens e utilizações do hidrogénio como energia limpa?

**CR:** O hidrogénio é um combustível limpo e inesgotável (se produzido por eletrólise da água). O hidrogénio em combinação com o oxigénio (do ar) alimenta as pilhas de combustível produzindo eletricidade e calor, com aplicações na mobilidade ou em unidades de microgeração residencial. O hidrogénio é uma solução para o armazenamento de energia elétrica de fontes não despacháveis (maioria das renováveis), com vantagens comparativas relevantes face aos sistemas hídricos reversíveis. O hidrogénio é o vetor energético necessário à viabilização de um sistema eletroprodutor que maximize a contribuição das energias renováveis na rede.

Uma vantagem complementar do hidrogénio é o de permitir idealizar um sistema energético autónomo, sem dependências estratégicas de fontes energéticas externas.

**rm:** Qual o panorama atual da investigação científica em Portugal no que respeita ao hidrogénio?

**CR:** Em Portugal existem muitos investigadores na área dos materiais, da química, física, inovação, engenharia e políticas públicas, mas também na área da economia e modelação energética, emissões de gases, entre outros. Muitos destes trabalhos e projetos desenvolvidos têm aplicação na área do hidrogénio, desde a construção de dispositivos eletroquímicos e modelos de células de combustível, até ao *design* de sistemas de energia renovável. O investimento na investigação nesta área deveria ser maior em valor e em parceria com o setor empresarial.

**rm:** Em que ponto se encontra a criação e implementação de uma legislação e regulamentação no quadro do hidrogénio?

**CR:** O hidrogénio é uma solução energética sustentável essencial à viabilização de um sistema energético tendencialmente 100% renovável. A sua concretização implica fortes investimentos em infraestruturas (nomeadamente na criação de uma rede de estações de serviço) e em iniciativas piloto e de demonstração, que permitam ao hidrogénio afirmar-se progressivamente como uma solução competitiva a ser adotada pelo mercado.

Só num quadro de políticas públicas claras é que este objetivo pode ser conseguido, à semelhança, aliás, do que tem acontecido com vários outros vetores energéticos – eólico, solar, mobilidade elétrica com baterias, rede de gás natural (para não se ir aos tempos já recuados da hidroeletricidade).

Temos a convicção de que com os trabalhos atualmente em curso na AP2H2, na DGEG e no LNEG haverá uma base sólida de análise que ajudará a formatar e quantificar as políticas públicas imprescindíveis à concretização de uma economia do hidrogénio, tanto quanto possível valorizando recursos naturais e constituindo-se como um novo polo de especialização competitiva da economia portuguesa.

**rm:** Em que consiste o projeto H2SE - Hidrogénio e Sustentabilidade Energética?

**CR:** Atualmente temos em curso um novo plano de ação de promoção e divulgação do hidrogénio, igualmente com o apoio do SIAC2020, em parceria com o INEGI e o IPP – Instituto Politécnico de Portalegre, e que representa um investimento em ações de estudo, promoção e divulgação de cerca de 270 000€ até 2018. O objetivo é contribuir para uma mais ampla divulgação e conhecimento da economia e tecnologias do hidrogénio proporcionando uma formação de base a quadros e decisores empresariais.

Uma das iniciativas em curso é a elaboração de um *roadmap* que avalie as condições de entrada do hidrogénio no *basket* energético até 2050. Este trabalho (subcontratado ao CENSE – FCT/UNL) complementa uma iniciativa paralela em curso na DGEG e LNEG. Assim, espera-se que em 2018 possamos dispor de instrumentos de apoio às decisões políticas e empresariais, tendo como quadro de referência a progressiva adoção do hidrogénio como solução energética sustentável.

**rm:** Qual a importância da criação de parcerias para a AP2H2?


**CR:** Depois de um início promissor, em que Portugal parecia querer estar no pelotão da frente da economia do hidrogénio, verificou-se uma retração deste interesse inicial para o que contribui principalmente o sucessivo adiamento na comercialização das soluções a hidrogénio no quadro internacional. Assim, no quadro nacional (e não só) as soluções a hidrogénio são consideradas ainda longe de uma maturidade industrial, e dificilmente suscitam a mobilização de meios agravados pelo quadro recessivo que se viveu nos anos pós 2010. Haverá ainda que considerar do lado político a aposta nos veículos a baterias (era importante não dispersar os meios e o foco da política), a ausência de uma estrutura industrial capaz de beneficiar das oportunidades abertas pelos programas comunitários (que decorre de uma cultura industrial avessa ao risco de investimentos tecnológicos a longo prazo) e a fragilidade do sistema científico sem uma estratégia de referência que valorizasse aos diversos níveis de intervenção política o contributo do hidrogénio.

A AP2H2 procurou neste período manter viva a bandeira do hidrogénio, beneficiando do apoio que teve do SIAC no âmbito do QREN. Ao longo dos anos foram elaboradas várias parcerias como já foi referido e são fundamentais numa adoção desta nova tecnologia.

**rm:** A utilização do hidrogénio como energia limpa é o futuro?

**CR:** Desde o final do século XX que a economia e tecnologia do hidrogénio têm vindo a merecer o interesse da União Europeia. A visão estratégica do contributo do hidrogénio para um sistema energético sustentável, no seguimento da convenção de Quioto, ganha expressão no 7.º Programa Quadro (2007-2013) com a criação da primeira JTI (*Joint Technology Initiative*) comunitária: FCH-JU (*Fuel Cells and Hydrogen/Joint Undertaken*), uma parceria entre a indústria, o sistema científico e tecnológico e a Comunidade Europeia. Esta parceria mantém-se e reforça-se no Horizon2020, competindo-lhe gerir as verbas comunitárias aplicadas ao desenvolvimento e promoção das tecnologias do hidrogénio (o orçamento é partilhado pela Comunidade e pela Indústria – 50% cada).

Depois de uma fase inicial centrada no desenvolvimento e otimização da tecnologia, em paralelo com a sua demonstração e teste em aplicações concretas (transportes públicos urbanos nomeadamente) a fase atual visa a criação e desenvolvimento do mercado, com fortes investimentos na constituição de uma rede de estações de serviço e de frotas. Os construtores automóveis europeus preparam o lançamento das primeiras pré series comerciais até 2020, no seguimento dos projetos da Toyota, da Hyundai e da Honda (com soluções comerciais já disponíveis).

A Alemanha, o Reino Unido e os países nórdicos lideram atualmente a maioria destas iniciativas. 

# da biomassa ao hidrogénio

O hidrogénio é um combustível promissor, apresentando uma combustão limpa e eficiente, dando resposta às questões ambientais e energéticas que atualmente se impõem.

Bruna Soares, Amadeu Borges  
amadeub@utad.pt

Os processos de produção de hidrogénio baseiam-se na sua separação (térmica, química ou biológica) a partir dos materiais que o contêm, como o gás natural, a biomassa, hidrocarbonetos e a água. Por poder ser produzido por um vasto leque de matérias-primas e tecnologias, pode tornar-se energeticamente relevante para a diminuição das importações de combustíveis.

Atualmente, grande parte da produção de hidrogénio é feita a partir de gás natural que, sendo um combustível fóssil, anula os benefícios ambientais; em menor quantidade, é produzido através da eletrólise da água, processo que consome muita energia, com a vantagem de obter hidrogénio com maior pureza. Com menor notoriedade, embora se apresente como processo viável e proficiente, o processo de gasificação extrai da biomassa o hidrogénio nela existente.

## Porque deve ser considerada esta via

A gasificação de biomassa é uma via tecnológica madura que usa um processo controlado que envolve calor e um oxidante para converter biomassa em hidrogénio e outros produtos, sem combustão. Como o crescimento e desenvolvimento da biomassa remove o dióxido de carbono atmosférico, através da fotossíntese, as emissões líquidas de carbono deste processo são baixas. Considerando-se o uso de biomassa florestal, promoveria o planeamento da gestão da floresta, através da limpeza e extração de resíduos dos matos e das áreas florestais, reduzindo o risco de incêndio.

Acresce que a valorização dos recursos (ou resíduos) endógenos, conduz à diminuição das importações de combustível e dos custos na recolha e transporte de resíduos; à melhoria do desempenho do saldo da balança comercial e à poupança de espaço em aterro.

O potencial da gasificação é elevado, pois é a forma mais eficaz de converter biomassa em biogás, ou gás de síntese (mistura de gases, essencialmente composta por hidrogénio, monóxido de carbono, metano e dióxido de carbono [Basu, 2010]), a um custo competitivo. Isto torna-se ainda mais relevante se considerarmos que a biomassa é um recurso abundante.

## Produção de hidrogénio a partir de biomassa

A gasificação consiste na conversão termoquímica de biomassa sólida em combustíveis gasosos e/ou sólidos (biocarvão), na presença de uma pequena quantidade de um oxidante. O equipamento onde é realizada a gasificação, o gasificador, é desenhado de forma a promover as reações de formação de biogás, que convertem materiais que contêm carbono em gases combustíveis para várias aplicações, como motores e turbinas a gás para produção de eletricidade, aplicações de aquecimento direto, génese de produtos químicos e células de combustível. A Figura 1, esquematiza a produção e aplicações do biogás produzido a partir da gasificação.

A biomassa é composta essencialmente por celulose, hemicelulose e lignina. No entanto, os teores destes componentes são variáveis, dependendo

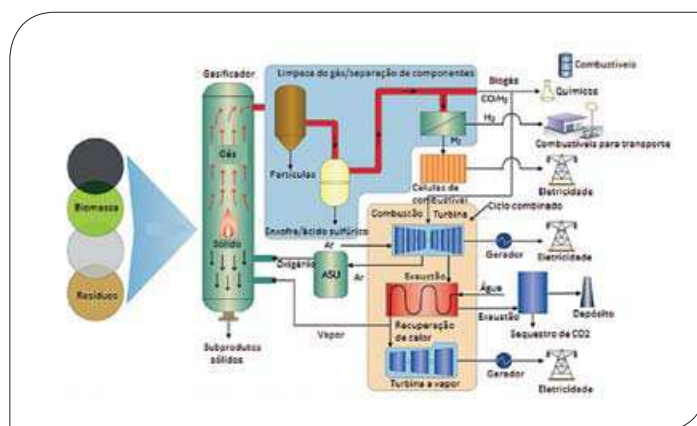


Figura 1 Esquema de funcionamento de um gasificador e produtos de gasificação – adaptado de [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov).

do tipo de biomassa, o que influencia diretamente os produtos obtidos pela gasificação. Alguns estudos relacionam os diferentes teores com o produto obtido. Tian *et al* (2017) menciona que quanto maior for o teor de lignina da biomassa, mais hidrogénio é produzido. Também as condições de processo afetam a quantidade e qualidade do produto obtido, como por exemplo a temperatura, humidade, tamanho de partícula, atmosfera da reação, utilização de catalisadores, tempo de residência, entre outros. Sansaniwal *et al* (2017), defendem que a temperatura, por si só, não garante o aumento do rendimento da gasificação, mas que para um conjunto típico de parâmetros operacionais, o maior rendimento (80%) é conseguido a uma temperatura de 700°C, para um teor de humidade de 10%. Vários outros fatores que influenciam a gasificação têm sido estudados por forma a aumentar a produção de hidrogénio. Não só a quantidade e qualidade do produto é alvo de estudo, também a viabilidade económica dos sistemas de gasificação tem vindo a ser examinado. Por exemplo, Yao *et al* (2018) criaram um modelo de otimização da eficiência energética e viabilidade económica dos sistemas de gasificação em leito fixo.

## As reações da gasificação que levam à produção de hidrogénio

A gasificação é uma forma efetiva de converter biomassa em biogás de alta qualidade. As reações químicas da gasificação, descritas em Borges & Soares, 2017, podem progredir para diferentes extensões dependendo das condições de processo (como temperatura e pressão) e do tipo de matéria-prima de alimentação. Ao contrário da combustão, na gasificação o oxidante (oxigénio), não se encontra em excesso o que leva à oxidação



parcial da matéria-prima. Como resultado, os produtos da gasificação são Monóxido de Carbono (CO) e Hidrogénio (H<sub>2</sub>), e uma pequena porção de carbono completamente oxidado em Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Sendo as principais reações as que envolvem o carbono, monóxido de carbono, hidrogénio, vapor e metano. De uma forma genérica, os mecanismos de gasificação podem ser divididos em 3 grupos de reações (Tian *et al.*, 2017), são eles (1) a volatilização através de reações químicas, em que a biomassa, sujeita ao calor, liberta hidrogénio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, alcatrão e carvão; (2) gasificação por reações com vapor de água e de Boudouard e; (3) reações secundárias na fase de gás.

A produção de hidrogénio é muito variável, no entanto promovendo algumas das reações, esta produção pode ser aumentada. Tome-se, a título de exemplo, uma investigação feita por Tian *et al.* em que com a introdução de metais alcalinos e metais alcalino terrosos (que têm efeito catalítico nestas reações secundárias na fase de gás) no processo de gasificação, aumentaram a produção de hidrogénio e dióxido de carbono, em contraste com a produção de metano e monóxido de carbono, que diminuiu.

### Os desafios e oportunidades

O uso de hidrogénio como combustível está a evoluir rapidamente e promete revolucionar o futuro da produção de energia. É abundante, eficiente e não produz emissões quando utilizado em células combustível.

De entre as várias formas de produção de hidrogénio, a gasificação de biomassa surge como via segura, abundante, economicamente viável, amiga do ambiente, que visa a sustentabilidade da produção de energia. No entanto, exige que sejam repensadas as políticas energéticas, de gestão de resíduos e da floresta.

Dada a heterogeneidade deste recurso, a investigação que tem sido desenvolvida procura as condições ótimas de operação com maior produção de hidrogénio e menor emissão de gases com efeito de estufa, a redução de custos associados ao capital de investimento em instalações e equipamentos e nas matérias-primas.

Modelos de previsão de produtos de gasificação, a partir dos constituintes básicos da biomassa e das condições de processo, estão também a ser estudados.

### Referências bibliográficas

- [1] [energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification](https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification)
- [2] [www.gasin.com/industries/Energy/Power/Power-Generation/hydrogen-basics.aspx](http://www.gasin.com/industries/Energy/Power/Power-Generation/hydrogen-basics.aspx)
- [3] [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov)
- [4] Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*.
- [5] Borges, A., & Soares, B. (2017). Gasificação de biomassa – um recurso por explorar. *renováveis magazine*, 29.
- [6] Sansaniwal, S. K., Rosen, M. A., & Tyagi, S. K. (2017). Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(March 2016), 23-43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.215>.
- [7] Tian, T., Li, Q., He, R., Tan, Z., & Zhang, Y. (2017). Effects of biochemical composition on hydrogen production by biomass gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(31), 19723-19732. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.174>.
- [8] Yao, Z., You, S., Ge, T., & Wang, C. H. (2018). Biomass gasification for syngas and biochar co-production: Energy application and economic evaluation. *Applied Energy*, 209(October 2017), 43-55. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.077>. 