COORDECO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS
ICSA

TEXTO DE DISCUSSÃO DISCENTE DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A DIFUSÃO DA ENERGIA DO HIDROGÊNIO VERDE COMO ALTERNATIVA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO BRASIL

Rayane Catrinck dos Reis

Edição número 05 – setembro de 2022

UFRRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO

A DIFUSÃO DA ENERGIA DO HIDROGÊNIO VERDE COMO ALTERNATIVA NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO BRASIL[1]

Rayane Catrinck dos Reis[2]

INTRODUÇÃO

Existe uma revolução verde em curso para frear o aquecimento global causado sobretudo pela emissão de gás carbono na atmosfera. Baseados em acordos entre nações, como por exemplo o Acordo de Paris de 2015, as nações estão assumindo compromissos com a redução de emissões que poluem o meio ambiente. Neste processo de transição à sustentabilidade, a energia é a chave, dado não somente pelo fato do fornecimento de energia estar associado a um iminente esgotamento dos recursos naturais, como também pelo fato das produções tradicionais serem bastantes maléficas para a natureza. Isso explica o porquê de o setor de energia ter sido um dos que mais recebeu inovações nas últimas décadas no sentido de promover uma energia mais limpa. O primeiro capítulo deste trabalho trata inicialmente da questão da transição energética e apresenta duas formas de energias limpas já consolidadas: as energias eólica e solar. Ambas estão em ampla expansão no mundo. O Brasil, dadas as suas características naturais, figura como uma das maiores potências de geração dessas energias.

Ainda no primeiro capítulo, este trabalho apresenta o hidrogênio como fonte alternativa e mais sustentável de energia. No futuro da economia energética é possível que o hidrogênio tenha um papel preponderante como fonte de energia limpa, sendo reconhecido como um importante vetor energético capaz de promover uma profunda descarbonização da economia mundial, especialmente em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e o de transportes (BRAGA et al, 2021).

---

[1] Texto de discussão do trabalho de conclusão de curso/monografia de mesmo título, que foi em maio de 2022, sob a orientação da docente Iraci Matos lotada no Departamento de Ciências Econômicas, do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da UFRRJ.

[2] Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – defendida em de abril de 2022.

O hidrogênio é um dos elementos mais presentes no universo, mas a sua existência normalmente é combinada com outros elementos, como a água, por exemplo. Para obter-se a energia do hidrogênio, existem várias maneiras, mas em todas elas é necessário utilizar outra forma de energia, cuja fonte pode ser de origem renovável ou não renovável. E é exatamente esta fonte que define a cor da energia. A base do hidrogênio verde é uma energia renovável.

A energia gerada através do hidrogênio não é algo contemporâneo. Para Souza (2020) o hidrogênio sofreu ciclos de boas expectativas e de desilusões nas últimas décadas pela forte concorrência e lobbies dos derivados de petróleo, gás natural e carvão. Schiling (2006) também concorda sobre o lobby das empresas de petróleo no então fracassado processo de difusão em massa da economia do hidrogênio. A autora destaca que o mais sério dos obstáculos que a energia do hidrogênio sofreu foi a falta de reabastecimento complementar a infraestrutura que fosse conveniente e fácil para os consumidores usarem, como por exemplo, a criação de algo equivalente a postos de gasolina. Além da barreira da infraestrutura, para que o poder da "economia do hidrogênio" ganhasse força era necessário também a resolução ou superação dos interesses conflitantes das numerosas partes interessadas, incluindo governo, serviços públicos, fabricantes de automóveis, produtores de petróleo e consumidores. Por todo este contexto, a difusão não pode ser definida unicamente como a adoção em massa de uma nova tecnologia. Na literatura relevante a difusão é uma mudança social que altera significativamente o contexto social e econômico (ROGERS, 1983; HALL, 2005). O segundo capítulo deste trabalho dedica-se à teoria da difusão, que é a última etapa da dinâmica da inovação que existe no tripé “invenção-inovação-difusão”, originado em Schumpeter (Ferreira, Ruffoni et al, 2018).

O segundo capítulo também mostra que alguns países já superaram as dificuldades enfrentadas na difusão do hidrogênio e a produção já é realidade em algumas partes do planeta. A Coreia do Sul e a França foram os países pioneiros, mas há um crescente número de nações que estão entrando para promover a propagação do hidrogênio.

Dado que se trata de uma mudança social, não basta que haja a inovação e que esta ganhe demanda de mercado. Há uma série de atores envolvidos no processo, sendo o Estado uma figura crucial. Mazzucato (2014) afirma que o Estado pode assumir riscos

que o setor privado não deseja fazê-lo e por isso, o apoio dele é fundamental nas inovações inclusive promovendo novas tecnologias “verdes” onde ele pode atuar criando o ambiente institucional necessário para a implementação do projeto.

O terceiro e último capítulo mostra que já existem iniciativas privadas na produção do hidrogênio no Brasil, sobretudo das empresas do setor elétrico. Ao Governo cabe iniciativas como o financiamento e montar um ambiente regulatório adequado para que a propagação aconteça. Diante disso, o país lançou em 2021 o

Programa Nacional do Hidrogênio que apresenta estratégias para o desenvolvimento da economia de hidrogênio, mas não foi a primeira iniciativa relacionada à energia do hidrogênio no Brasil.

A conclusão do trabalho tem como destaques: a inovação da energia do hidrogênio não é nova, mas a difusão tem sido impulsionada pela opção de produção de energia limpa, uma tendência crescente em todo o mundo; e no Brasil, as iniciativas ainda são tímidas e isoladas. O governo brasileiro tem feito esforços para ser incluído neste promissor mercado da energia do hidrogênio, mas ainda faltam ajustes, como por exemplo, linhas de financiamento e marco regulatório.

TRANSIÇÃO À SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E A ENERGIA DO HIDROGÊNIO

Embora tenham acontecido alguns fenômenos históricos de catástrofes ecológicas, o mundo vivo absorvia sem dificuldades as intervenções humanas enquanto as atividades econômicas apenas “arranhavam” a biosfera (DEBEIR, DELÉAGE, HÉMERY, 1993). Mas na década de 1960 a crise ambiental já era evidente. A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo, na Suécia, foi a primeira Conferência global voltada para o meio ambiente e por isso ela é considerada um marco histórico e decisiva para o surgimento de políticas de gerenciamento ambiental, direcionando a atenção das nações para essas questões (PASSOS, 2009).

Depois de Estocolmo, muitas outras conferências internacionais foram organizadas. Capello e Lima (2018) avaliaram todos os eventos relacionados às mudanças climáticas com chamamento mundial desde a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (1992) e o Acordo de Paris (2015). O primeiro foi extremamente relevante por estabelecer um quadro de atuação dos países com reuniões

periódicas para debater as problemáticas referentes às mudanças climáticas e que foram essenciais para fomentar a evolução do regime internacional que levou ao Acordo de Paris. Este último logrou êxito em determinar obrigações referentes à redução de emissões tanto para os países desenvolvidos quanto para os que se encontram em desenvolvimento. Os autores concluíram o quão fundamental é uma atuação multilateral e a relevância da cooperação internacional efetiva no processo de enfrentamento das mudanças climáticas.

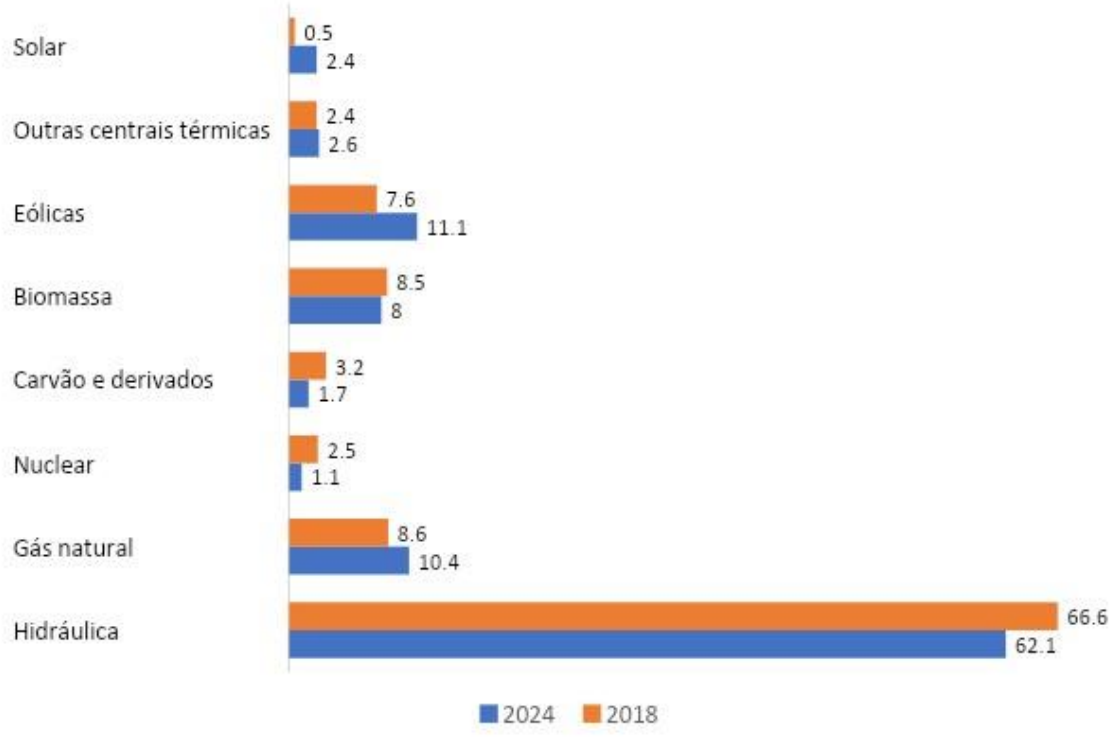
Markard, Raven, Truffer (2012) analisaram diversos artigos acadêmicos e identificaram os seguintes percentuais de artigos relacionados ao tema "transição à sustentabilidade: energia (36%), transportes (8%), água e saneamento (7%) e alimentação (3%). Os autores afirmaram que, embora o desafio da sustentabilidade tenha vários domínios e abranja diferentes áreas científicas, o setor de energia é predominante, dado que o fornecimento de energia é confrontado com um iminente esgotamento dos recursos naturais, poluição do ar com as emissões dos gases de efeito estufa, riscos nucleares, incertezas relacionadas à segurança de abastecimento de curto e longo prazo, dentre outros fatores. Talvez por isso, o setor de energia é um dos que mais recebeu inovações nas últimas décadas no sentido de promover uma energia mais limpa. Atualmente, o sistema energético não é visto apenas pela sua capacidade de impulsionar o crescimento econômico, mas sim pela sua capacidade de impulsionamento de modo sustentável. Para González (2021), a transição energética contemporânea tem como eixo principal a transformação de um sistema energético global fortemente dependente dos combustíveis fósseis para um outro de zero emissão de CO2. A consolidação desse novo regime é esperada ainda para a segunda metade do presente século. Assim, começa a se prever um mundo com quase 10 bilhões de pessoas habitando nele, poderia, eventualmente, suprir um 100% dos seus requerimentos energéticos com fontes renováveis até o ano 2050. A meta não parece tão distante e por isso, não é surpresa que novos elementos já sejam realidade: a capacidade de energia renovável já ultrapassa a dos combustíveis fósseis em muitos países. Na Europa, por exemplo, as energias renováveis geraram 38% da eletricidade de todo o continente em 2020, ultrapassando os 37% do mercado gerado pelos combustíveis fósseis. Os dados foram impulsionados pela geração de energia eólica e solar que quase duplicou naquele ano (PINTO, 2021).

Mas a realidade da Europa ainda não pode ser aplicada para todo o mundo: para França (2017, p.14), "Um dos grandes tormentos do mundo de hoje é a questão relativa à energia: o aproveitamento desta ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a imensa maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável, seja de fonte mineral

ou atômica". De qualquer forma, é notório este grande movimento e esforços conjuntos de nações, empresas e pessoas em direção à transição energética. Algumas formas de produção de energia limpas, como a eólica e a solar, já estão consolidadas e outras como a energia do hidrogênio estão ganhando destaque.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018 (EPE, 2021) a matriz elétrica mundial é constituída de 25% de energia renováveis contra 75% de não renováveis. O Brasil é muito superior ao resto do mundo: a matriz elétrica é constituída de 83% de fontes renováveis de energia contra 17% de não renováveis. Das renováveis, a maioria absoluta da energia é gerada por usinas hidrelétricas, que representou 66,6% de toda energia gerada no ano de 2018. Mas há diferentes fontes, como mostra o Gráfico 1 que destaca a produção crescente de energia elétrica vinda das eólicas e solar. Segundo previsão do Sousa e Silva (2020), a eólica, cujo percentual da matriz elétrica brasileira em 2018 foi de 7,6%, saltará para 11,1% em 2024. A energia solar representou 0,5% e saltará para 2,4%. Ambas as fontes têm tecnologias consideradas maduras e um nível de penetração delas no setor elétrico de alguns países já atinge 100% da produção em alguns horários.

Gráfico 1: Distribuição da Matriz Elétrica Brasileira (em %) – 2018 e 2024



Fonte: Adaptado de Silva e Sousa (2020)

Estudos recentes como o do Sampaio e Batista (2021) mostram que a matriz energética está em constante evolução e o potencial no Brasil ainda não está sendo aproveitado em sua total expansão, pois há muitos parques eólicos que ainda estão sendo construídos e outros que a construção ainda não foi iniciada.

A ENERGIA DO HIDROGÊNIO

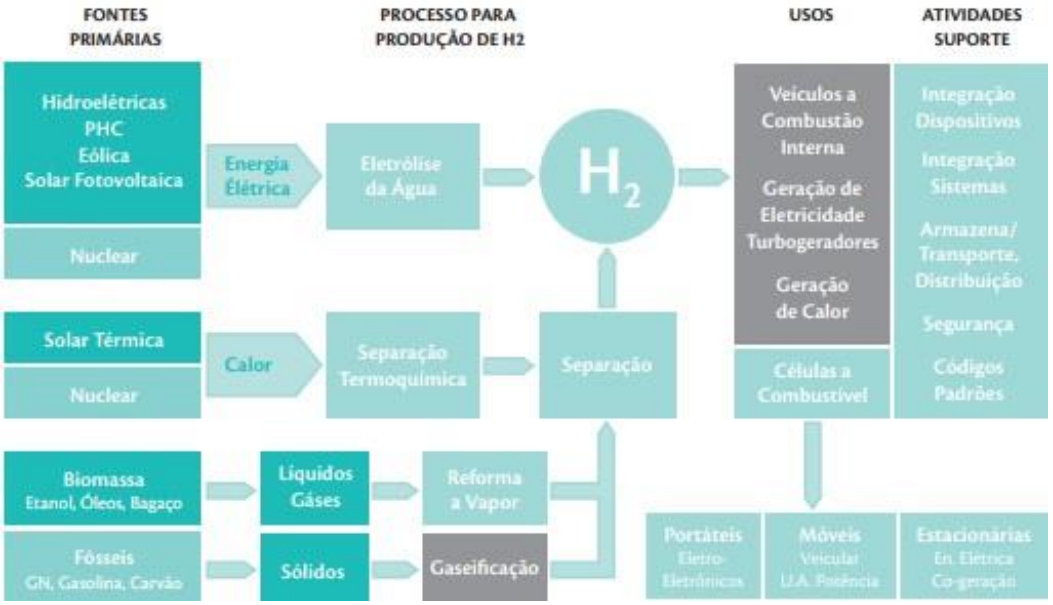
O hidrogênio é o primeiro elemento da tabela periódica, o menos complexo e o mais abundante no universo (PUSZ, 2001). O hidrogênio é um elemento-chave da água, que abrange mais de 60% da superfície do planeta e aparece em diferentes formas de plantas, animais, seres humanos, combustíveis fósseis, e outros compostos químicos (SLOOP, 1978).

Possui a maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido. No estado natural e sob condições normais, o hidrogênio é um gás incolor, inodoro e insípido. O hidrogênio normalmente existe combinado com outros elementos, como o oxigênio na água, o carbono no metano e nos demais compostos orgânicos. Como é quimicamente muito ativo, raramente permanece puro.

Quando queimado num ambiente de oxigênio puro, os únicos produtos são calor e água. Ainda assim, a queima de hidrogênio produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (LEPECKI, 2011).

Na exploração de fontes alternativas e mais sustentáveis de energia, o hidrogênio é considerado um vetor energético viável. No futuro da economia energética, o hidrogênio tem um papel preponderante como fonte de energia limpa, para utilização em pilhas de combustível que podem ser utilizadas na indústria automóvel, e na produção descentralizada de energia. Dessa forma, esse combustível tem potencial para se tornar o meio mais sustentável de energia do futuro.

Figura 2: Fontes de hidrogênio



Fonte: CENEH (extraído de Hidrogênio energético no Brasil Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025)

Existem várias maneiras de se obter o hidrogênio que utilizam diversas fontes de energia, podendo ser de origem renovável ou não renovável. Ele não é uma fonte primária de energia, mas sim um condutor energético quando separado de outros elementos através de uma fonte de energia. As formas de energia necessárias para a extração do hidrogênio de recursos naturais podem ser classificadas em quatro categorias: térmica, elétrica, fotônica e bioquímica. Estas formas de energia são obtidas por fontes de energia verdes incluindo de fontes renováveis, nuclear e recuperada como gases de aterro, calor industrial ou resíduos que possam ser incinerados.

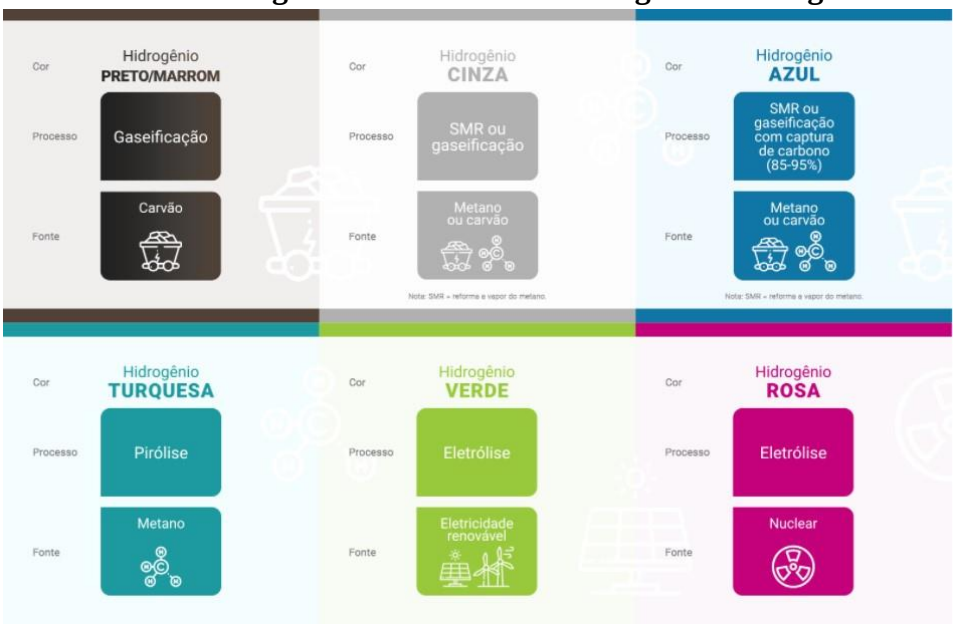
Para se obter o hidrogênio na sua forma isolada é necessário utilizar diversos processos. Ele pode ser também obtido por fontes de energia não renováveis, ou seja, diretamente de combustíveis fósseis entre os quais gás natural, carvão, etanol, propano e outros hidrocarbonetos utilizando diversos processos. Estes métodos que utilizam a água como matéria-prima têm tendência a crescer e a ser mais implementados, pois se enquadram na estratégia europeia, em que o hidrogênio verde tem um papel importante para a descarbonização. Estes métodos permitem utilizar outras fontes de energia renováveis como a energia eólica ou solar para os seus processos. A função destas fontes é produzir energia elétrica para ser utilizada no processo de eletrólise, surgindo assim o hidrogênio verde, ou seja, o hidrogênio obtido sem emissões de carbono.

Para obter o hidrogênio de maneira limpa as formas mais utilizadas são: eletrólise; e reforma, ou reformação por vapor. A eletrólise é o processo físico-químico de divisão das moléculas de água em átomos individuais de hidrogênio e oxigênio através da reação química induzida pela eletricidade, que pode ser de origem renovável, não renovável ou até uma combinação entre elas. A produção de hidrogênio através da eletrólise da água é mais econômica que a produção de gás natural sintético produzido utilizando carvão, biomassa, derivados do petróleo ou resíduos sólidos. Este gás rico em carbono quando gaseificado dá origem ao Syngas (Yu *et al*., 2021). A produção da energia do hidrogênio feita pela eletrólise resultante é chamada hidrogênio verde e neste caso, o hidrogênio é considerado uma fonte de energia neutra em carbono, pois o

processo de sua queima produz água e não CO_2.

O segundo processo, a reforma, tem um maior impacto ambiental, pois envolve o uso de combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e gás natural. O hidrogênio obtido por reformação de outros combustíveis fósseis possui elementos como nitrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre outros. Para a produção da energia do hidrogênio, tais combustíveis são decompostos com vapor de água a alta temperatura. Este processo envolve a emissão de CO_2, que pode ser solto no ar ou capturado. No primeiro caso, a energia resultante é chamada hidrogênio cinza. No segundo caso, a energia resultante é chamada hidrogênio azul. A figura abaixo apresenta as cores de cada energia resultante do hidrogênio.

Figura 2.1: As cores da Energia do Hidrogênio



Fonte: IRENA (2020)

Pode-se classificar o hidrogênio em diversos grupos de acordo com a forma que ele é obtido. Sendo assim, o hidrogênio obtido por combustíveis fósseis é classificado como hidrogênio cinza ou azul, e o que possui baixo teor de carbono é classificado como verde. O hidrogênio cinza é obtido a partir de combustíveis fósseis, sendo que as emissões de dióxido de carbono (CO_2) são liberadas diretamente na atmosfera. Já o hidrogênio azul é também obtido por combustíveis fósseis, mas as emissões de carbono não são liberadas na atmosfera, estas são capturadas e armazenadas, normalmente no subsolo. O hidrogênio com baixo teor de carbono é chamado verde, pois é obtido com eletricidade provinda de fontes renováveis, como a solar ou eólica, por exemplo. Até o momento, as tecnologias mais desenvolvidas para produção de hidrogênio por energias renováveis são a eletrólise da água e a reformação a gás do biogás, ou seja, ele é carbono zero: obtido sem emissão de CO_2. O hidrogênio azul é economicamente mais vantajoso quando comparado com o hidrogênio verde, e sendo um método viável pode ser implementado na indústria, apesar de ser obtido por combustíveis fósseis, as emissões de CO_2 são reduzidas. Este hidrogênio pode ser considerado sustentável, especialmente para países produtores de petróleo ou grandes consumidores, podendo assim utilizar as estruturas já existentes. O hidrogênio turquesa está associado a uma tecnologia experimental que passa por transformar o CO_2 em sólido. A matéria-prima utilizada neste processo é o gás natural ou o biogás no processo de pirólise de hidrocarbonetos em que o produto é o CO_2 que seria convertido em carbono sólido e não emitido para a atmosfera (EDP, 2018). O hidrogênio branco, que

não aparece no quadro acima, resulta de uma ocorrência rara, apesar deste elemento ser constituinte da água, plantas e até animais, é complicado encontrá-lo livre no estado gasoso. Esta situação é extremamente rara visto que o elemento é inodoro e incolor, no entanto, pode acontecer em depósitos subterrâneos, sendo que são extremamente difíceis de detectar e não existem técnicas eficientes e viáveis do ponto de vista econômico para haver a extração.

O hidrogênio rosa é outra solução possível para se obter hidrogênio, ele é produzido por energia nuclear, neste caso o processo de eletrólise é conseguido recorrendo a essa energia, quando o hidrogênio é obtido por energia nuclear para o processo de eletrólise e divisão termoquímica. Apesar destes métodos terem baixas emissões de carbono estão sempre associados a riscos relacionados com os desperdícios radioativos, a obtenção de urânio e o risco de acidentes (EDP, 2018). Embora existam diversas formas de se produzir hidrogênio, assim como de armazenar ou utilizar, a poluição e a viabilidade econômica de algumas técnicas colocam de lado, determinadas ‘cores’, são soluções sem futuro.

Por fim, o hidrogênio verde caminha a passos largos para a equiparação de preços se comparado ao cinza e azul, o que fará desta tecnologia não só eficiente do ponto de vista ambiental como também geradora de emprego e crescimento econômico.

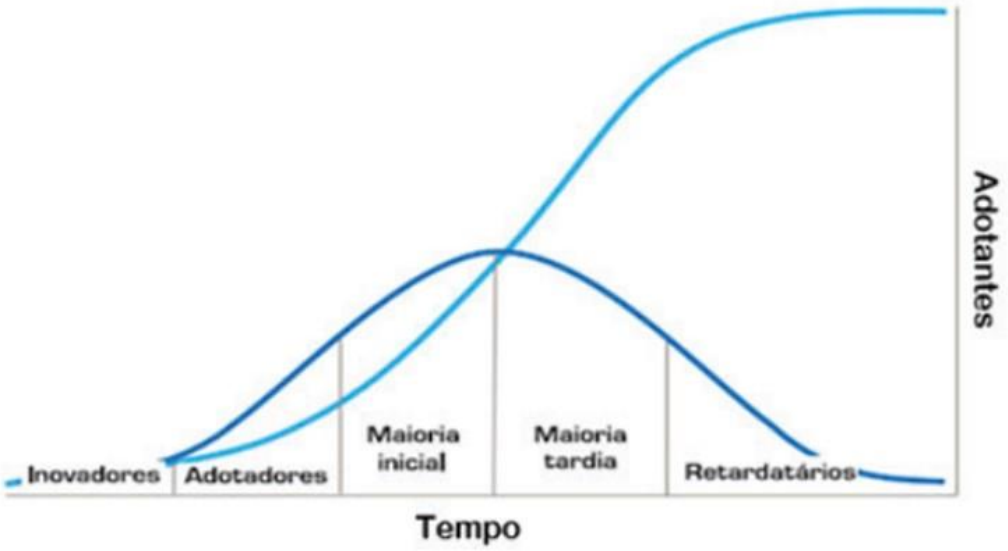
O futuro do planeta passa pelo hidrogênio verde.

A DIFUSÃO DA ENERGIA DO HIDROGÊNIO

A energia do hidrogênio é uma invenção feita há mais de um século, mas o seu processo de difusão parece finalmente ter sido impulsionado apenas nos últimos anos. A difusão de uma tecnologia pode trazer muitos benefícios para os mercados, mas é bastante complexa por envolver uma mudança social, tendo o Estado papel crucial. Este capítulo mostra a teoria da difusão de uma inovação nas principais iniciativas onde a energia do hidrogênio já é uma realidade.

A difusão é a última etapa da dinâmica da inovação que existe no tripé “invenção-inovação-difusão”, originado em Schumpeter (Ferreira, Ruffoni *et al*, 2018). O autor seminal em difusão, Everett Rogers, em seu trabalho de 1962, apresentou a curva da difusão, apresentada abaixo. Ela relaciona o número de empresas adotantes da inovação com relação ao tempo.

Figura 3: Curva de Difusão de Inovações



Fonte: Ferreira, Ruffoni et al, 2018

A curva de difusão de Rogers assume uma forma de S, já que o comportamento da adoção aumenta lentamente no início, quando apenas os inovadores a adotam, e acelera ao atingir os adotantes iniciais e a maioria inicial, o que representa a metade dos indivíduos previstos no sistema. Após, aumenta a uma taxa mais lenta, alcançando a maioria tardia e retardatária (ROGERS, 1962 *apud* Ferreira, Ruffoni et al, 2018). A partir desta curva é possível entender a mais comum definição de difusão: para Hall (2005) a difusão é mais conhecida como o processo para descrever como pessoas e empresas adotam uma nova tecnologia, isto é, o meio pelo qual a inovação se torna útil ao ser espalhada. Mas não é apenas isso: para a autora, a difusão é também uma parte intrínseca do processo de inovação, pois os efeitos de aprendizagem, imitação e *feedback* que surgem durante a disseminação de uma nova tecnologia aprimoram a inovação original. Sem a difusão, a inovação teria pouco impacto social e econômico. A ideia de mudança social foi apresentada pelo próprio Rogers em seu trabalho de 1983. Ele definiu a difusão como uma espécie de mudança social, um processo cuja alteração ocorre na estrutura e função de um sistema social. Para o autor, quando novas idéias são inventadas, difundidas e adotadas ou rejeitadas, levando a certas consequências, ocorre a mudança social que pode ser comparada com outros tipos de mudanças podem acontecer tais como, uma revolução política ou através de um evento natural como uma seca ou terremoto (ROGERS, 1983).

De fato, muitas inovações mudam significativamente todo o contexto social e econômico. Para Hasenclever e Tigre (2001) o processo de difusão da energia elétrica no final do século XIX exigiu a montagem de redes de distribuição, novas formas de compra e venda, e uma institucionalidade distinta da adotada quando as principais fontes energéticas eram o carvão e o querosene. Este arranjo é caracterizado como uma inovação sistêmica, que envolve muitos aspectos, como regulatórios, infra-estruturas, sociais, sistemas de financiamento e mesmo aspectos macroeconômicos.

Segundo Hall (2005), além de fatores culturais e sociais, a difusão depende dos benefícios e dos custos econômicos envolvidos. Os benefícios estão presentes ao longo da vida da inovação e associados à quantidade de melhorias que a nova tecnologia oferece em relação a qualquer tecnologia anterior. Já os custos acontecem normalmente no momento da adoção e podem ser do tipo "irrecuperáveis", embora possa haver uma taxa contínua para o uso de algumas das novas tecnologias, mas este custo é geralmente muito menor do que o custo inicial.

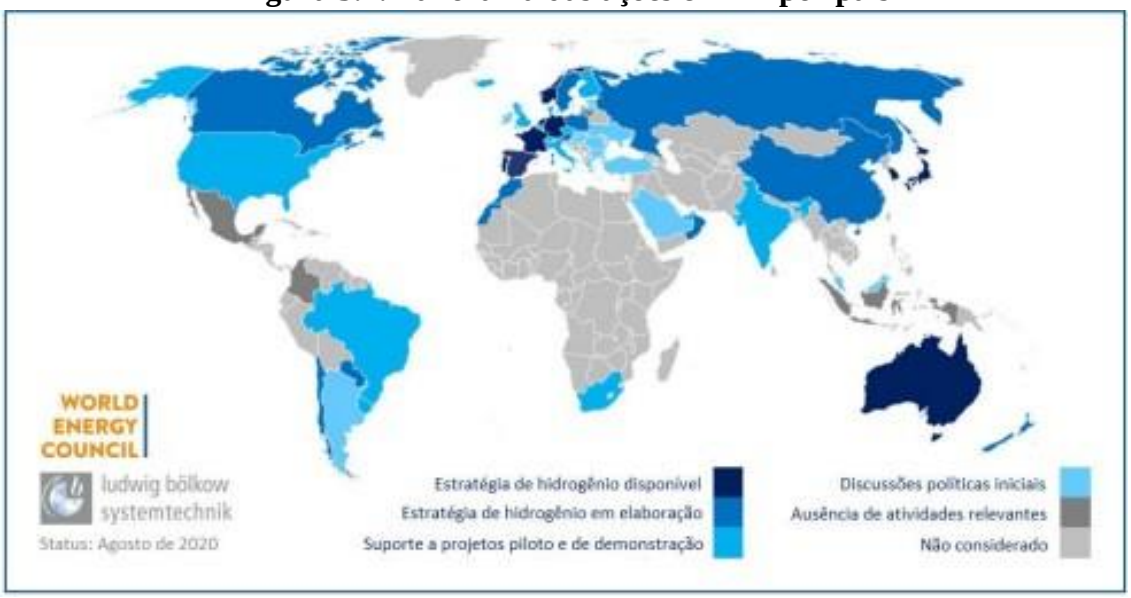
Uma inovação pode ser protegida ou difundida como estratégia da empresa. Para Schllling (2019) a difusão de uma inovação tecnológica pode encorajar várias empresas a produzir, distribuir e promover a tecnologia, possivelmente acelerando seu desenvolvimento e difusão. A difusão pode ser particularmente útil em indústrias que acumulam cada vez mais retorna para adoção. Também é útil quando a empresa tem recursos inadequados para ser o único desenvolvedor, produtor, distribuidor e comerciante de um bem. A concorrência entre os produtores pode derrubar o preço da tecnologia, tornando-a mais atraente para os clientes. Os clientes e fornecedores de produtos complementares também podem perceber que a tecnologia é melhor (ou seu futuro é mais certo) se houver várias empresas apoiando a tecnologia. Essa percepção pode levar a uma adoção muito mais rápida da tecnologia por clientes e fornecedores de bens complementares, o que estimula ainda mais empresas a apoiar a tecnologia.

A introdução comercial e exploração de uma invenção, em seguida, aceitação pelo mercado é uma condição que deve ser cumprida para todas as inovações, independentemente de suas origens. Mas, a demanda de mercado não é necessariamente a única, ou mesmo a principal, determinante da escala e direção do trabalho inventivo e inovador (COOKE, 1979). A inovação diz respeito a um conjunto de processos, nos quais algumas mentes imaginativas interligam ciência, tecnologia e mercado, no intuito de desenvolver novas tecnologias e produtos (FREEMAN, 1979). Assim, são muitos os atores envolvidos.

Para Mazzucato (2014), o Estado deve não somente corrigir falhas de mercado (por exemplo, por meio do financiamento para pesquisa básica e projetos de infraestrutura), mas também abrir espaço para o investimento privado dinamizando-o, cabendo ao estado sinalizar para a sociedade, sua visão, definir sua missão é formular e executar um planejamento coerente. Além disso, a autora afirma que o Estado pode assumir riscos que o setor privado não deseja fazê-lo, por isso, o apoio dele é fundamental nas inovações inclusive promovendo novas tecnologias "verdes" onde ele pode atuar criando o ambiente institucional necessário para a implementação do projeto.

Na difusão da energia do hidrogênio no Brasil já ocupa algum cenário, embora tímido e com apenas alguns projetos pilotos e iniciativas privadas bastante debutantes. O Estado tem papel fundamental no que tange a difusão de uma nova tecnologia, seja no financiamento, seja no ambiente regulatório adequado. As ações do Governo brasileiro quanto à energia do hidrogênio já foram iniciadas, mas ainda têm muitos desafios. O Brasil figura no mapa mundial da propagação da energia do hidrogênio, embora a presença seja bem mais tímida quando comparado com alguns países, como por exemplo, a Austrália e algumas nações europeias, mas estamos no mesmo nível de países como os Estados Unidos, como mostra a figura 3.2, que contém o grupo de países que apoiam projetos pilotos em hidrogênio.

Figura 3.1: Panorama das ações em H2 por país



Fonte: World Energy Council/LBS GmbH (2020), extraída do Mapeamento do Setor de H2 Brasileiro

CONCLUSÃO

A produção global está sujeita a uma transição à sustentabilidade, e a energia limpa tem um papel evidente. Já existem produções alternativas às tradicionais bastante consolidadas e a energia do hidrogênio pode figurar entre elas. Embora não seja uma inovação recente, a energia do hidrogênio tem sido impulsionada e conseguido difusão em muitos países pelo mundo, onde é possível observar iniciativas de produção, uso e comercialização.

No Brasil as iniciativas ainda são tímidas e isoladas, partindo sobretudo das empresas multinacionais e que já produzem algum tipo de energia. O potencial brasileiro para produzir a energia do hidrogênio verde é enorme principalmente pelas condições naturais e pela conhecida matriz energética limpa. As iniciativas governamentais não datam de hoje, embora o principal passo tenha sido dado em 2021: a apresentação do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), que é bastante otimista quanto às estratégias para o desenvolvimento da economia de hidrogênio, mas contêm falhas especialmente no que tange às fontes de financiamento e um desenho adequado do marco regulatório, crucial ao setor de energia é fundamental para que o Brasil possa de fato participar desse mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Julia. O que é hidrogênio e quais suas características?. Hidrogênio, [s. l.], 2021. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/hidrogenio/. Acesso em: 22 fev. 2022.

Associação Brasileira de Energia Sola (ABSolar). https://www.absolar.org.br/

Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). (2019). Boletim anual de geração eólica 2019. http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/07/EN_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019-1.pdf

As cores do hidrogênio: verde é a cor do futuro. EDP Energias de Portugal,2018. Disponível em: www.edp.com/pt-pt/historias-edp/cores-do-hidrogenio

BOAS, Elizabeth. O que temos a ver com o hidrogênio verde?. O que temos a ver com o hidrogênio verde? [s. l.], 2021. Disponível em: https://www.alterconteudo.com.br/o-que-temos-a-ver-com-o-hidrogenio-verde/. Acesso em: 19 out. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Brasília, 2021. Disponível em https://www.gov.br/mcti/pt-br. Acesso em 01/08/2021

BRASIL. **Lei** nº 9.991/ 2002

BERGEK. A. Technological innovation systems: a review of recent findings and suggestions for future research. Handbook of Sustainable Innovation (2019) 200-218.

CAPELLO, L; LIMA, R. Análise da Cooperação Internacional Solidária no Acordo de Paris. Revista Argumentum – RA, eISSN 2359-6889, Marília/SP, V. 19, N. 3, pp. 659-689, Set.-Dez. 2018.

CASTRO, N.; BRAGA, S. Perspectivas da Economia do Hidrogênio no Setor Energético Brasileiro. TDSE Texto de Discussão do Setor Elétrico Nº 100 junho de 2021 Rio de Janeiro.

DE OLIVEIRA, Ana Camila Rodrigues et al. O USO DO HIDROGENIO COMO FONTE ENERGÉTICA.

DA SILVA, Larissa Tavares; DANA, Manuela Carneiro. Regulação do hidrogênio no Brasil: descarbonização do setor de óleo e gás para metas climáticas. 2020

FERREIRA, J. RUFFONI. A. Carvalho.; Dinâmica da difusão de inovações no contexto brasileiro Rev. Bras. Inov., Campinas (SP), 17 (1), p. 175-200, janeiro/junho 2018.

FRANÇA, M. (2017). O Histórico da Gestão da Energia Elétrica no Brasil (Bachelor's thesis).

FREEMAN, C. (1979) The Determinants of Innovation. Market Demand, Technology, and the Response to Social Problems. Futures, June

GEELS, H. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research Policy 31 (2002) 1257–1274.

GONZÁLEZ. A. Transição energética para a sustentabilidade no Chile e no Brasil: Oportunidades e desafios decorrentes da pandemia por Covid-19 Latin American Journal of Energy Research (2021) v. 8, n. 1, pp. 1–21.

GOVERNO DO BRASIL (Brasil). Governo do Brasil. Geração eólica ultrapassa os 20 GW de capacidade instalada no Brasil. Mais de 750 parques eólicos estão em operação no território brasileiro, [s. l.], 23 nov. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/11/geracao-eoli ca-ultrapassa-os-20-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil. Acesso em: 22 fev. 2022.

HALL, B. (2005) Innovation and diffusion. In: FARGERBERG, J., MOWERY, D., NELSON, R. (Ed.). The Oxford handbook of innovation. New York: Oxford University Press. (Capítulo 17).

HASENCVLEVER, L.; P. TRIGRE. Estratégias de Inovação. In KUPFER, D.; HASENCVLEVER, L. (Orgs). Economia Industrial Fundamentos Teóricos e Práticos no Brasil. Rio de Janeiro. Elsevier, 2002 (capítulo 18).

HÉMERY, Daniel; DEBEIR, Jean-Claude; DELÉAGE, Jen-Paul. Uma História da Energia. trad. e atual. Sérgio de Salvo Brito. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

HYDROGEN COUNCIL, (2021). https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2021/

IRENA – International Renewable Energy Agency (2019). Hydrogen: A renewable energy perspective. (Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo,Japan). Abu Dhabi.

LEPECKI, W. A Energia Nuclear e a economia do Hidrogênio – 2011 -Disponível em <http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/Economia_Hidrogenio_Lepecki.pdf> Acesso em 15/07/2020

LAMEIRAS, Fortunato Lobo. O hidrogênio como vetor de energia. 2019.

MARKARD, J; RAVEN, R; TRUFFER, F. A Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. J. Markard et al. / Research Policy 41 (2012) 955–967

MAZZUCATO, M. (2014) O Estado Empreendedor - Desmascarando o mito do setor público vs. setor privado. São Paulo: Companhia das Letras.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro. Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde, [s. l.], 27 out. 2021. Disponível em: https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Proposta de Diretrizes , [s. l.], 1 jul. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrognioRelatriodiretrizes.pdf. Acesso em: 18 fev. 2022.

Sloop LJ. Liquid hydrogen as a propulsion fuel. The NASA History Series, Washington (DC); 1978.

PALADINO, Patricia, A. Uso do Hidrogênio no transporte público da cidade de São Paulo.2013 Disponível

em:<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde24102013-112007/publico/2013PaladinoUso.pdf > Acesso em: 01/2022

PINTO, Flávio. Energia renovável supera combustíveis fósseis pela primeira vez na Europa. Olhar Digital, [S. l.], p. 1-1, 28 jan. 2021. Disponível em: https://olhardigital.com.br/2021/01/28/noticias/energia-renovavel-supera-combustiveis-fosseis-pela-primeira-vez-na-europa/. Acesso em: 21 jan. 2022.

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz; FIANI, Ronaldo. Regulação Econômica. In: KUPFER, David; HASENCEVER Lia. Economia Industrial. Rio de Janeiro: Campus, 2002. p. 515-543

PORTER, M. E.; van der LINDE, C. Toward a New Conception of the Environmentcompetitiveness Relationship. Jornal of Economic Perspectives, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

PORTAL SOLAR. Energia eólica. O que é, como funciona, vantagens e desvantagens, [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-x-energia-eolica-precos.html. Acesso em: 22 mar. 2022.

PORTAL SOLAR. Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica. Portal Solar, [*s. l.*], 2021. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html. Acesso em: 22 fev. 2022.

Rogers, E. Diffusion of Innovations, 3rd ed. (New York: Free Press, 1983). https://teddykw2.files.wordpress.com/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf

SCHILLING, M. (2019) Strategic management of technological innovation. 6th edition. New York: McGraw-Hill Education. (Capítulo 9).

SAMPAIO, K.; BATISTA, V. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. Research, Society and Development, v. 10, n.1, e 57710112107, 2021.

TOPSUN ENERGIA SOLAR (Brasil). Brasil ocupa 9ª posição no ranking de países que mais instalaram energia solar em 2020. G1.com, 26 jul. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/07/26/brasil-ocupa-9a-posicao-no-ranking-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020.ghtml. Acesso em: 22 mar. 2022.

VENEROSO, MARCELO, Estado pode virar polo de produção e fornecimento de hidrogênio verde. Disponível em

https://diariodocomercio.com.br/economia/estado-pode-virar-polo-de-producao-e-fornecimento-de-hidrogenio-verde/

WORLD ENERGY COUNCIL, (2020). https://www.worldenergy.org/publications