

2023



PPGD

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DIREITO • UNIRIO

REVISTA DIREITO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS

Law and Public Policy Review

ISSN 2675-1143

Volume 5, n. 1
Janeiro - Junho

Qualis B2



Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
(UNIRIO)

 <http://seer.unirio.br/rdpp/index>

 rdpp@unirio.br

**REVISTA DIREITO DAS POLÍTICAS
PÚBLICAS**
LAW AND PUBLIC POLICY REVIEW

VOLUME N.º 5 – NÚMERO 1

ISSN 2675-1143

Editor-Chefe:

Profa. Dra. Edna Raquel Hogemann, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Vice Editor-Chefe:

Prof. Dr. Oswaldo Pereira de Lima Junior, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Rio de Janeiro, 2023



Hidrogênio verde como alternativa para a transição energética e a importância do Brasil neste cenário

The green hydrogen as an alternative for the energy transition and the importance of the Brazil in this scenary

Priscila Elise Alves Vasconcelos¹

Universidade Federal de Roraima. Professora Adjunta. Boa Vista (RR) Brasil.

Renata Marafon²

Universidade Federal do Paraná. Doutoranda em Direito. Curitiba (PR) Brasil

Roberto Miyashiro Junior³

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Auditor. Curitiba (PR) Brasil

RESUMO

A discussão referente à questão energética mundial é um fato notório. A crescente população mundial, que atingiu o número surpreendente de 8 bilhões de pessoas em 2022, é mais um fato que vem a pressionar o crescimento da demanda por energia elétrica. Diante desse cenário, que clama por um mundo mais sustentável ambientalmente, surge como alternativa o hidrogênio verde que é praticamente isento de emissões de poluentes por utilizar fontes renováveis em sua geração. Sendo assim, aproveitando-se do fato de que o Brasil tem o maior potencial de produção de hidrogênio verde no mundo, este estudo, realizado por meio da revisão bibliográfica, tem como objetivo geral apresentar um panorama acerca das políticas públicas nacionais que tenham como foco a viabilização do hidrogênio verde como matriz elétrica e energética; e, como objetivos específicos, trazer uma análise das políticas públicas, em especial quanto às políticas ambientais, apresentar o hidrogênio enquanto elemento químico, suas formas de obtenção e utilização, e por fim, demonstrar como podem ser benéficas ao Brasil a produção e exportação dessa matriz

ABSTRACT

The discussion regarding the global energy issue is a notorious fact. The growing world population, which reached a surprising number of 8 billion people in 2022, is yet another fact that is putting pressure on the growth in demand for electricity. Given this scenario, which calls for a more environmentally sustainable world, green hydrogen appears as an alternative, which is practically free of pollutant emissions because it uses renewable sources in its generation. Therefore, taking advantage of the fact that Brazil has the greatest potential for the production of green hydrogen in the world, this study, realized by bibliographical research, has the general objective of presenting an overview of national public policies that focus on the feasibility of green hydrogen as an electrical matrix and energetic; and, as specific objectives, to bring an analysis of public policies, especially regarding environmental policies, to present hydrogen as a chemical element, its ways of obtaining and using it, and finally, to demonstrate how the production and export of this hydrogen can be beneficial to Brazil. renewable matrix. Because it is a technology

¹ Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8747-9920>.

² Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9177-3663>

³ Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1957869531518400>



renovável. Por se tratar de uma tecnologia em desenvolvimento, o que a torna cara, muito ainda é necessário se fazer para que tal tecnologia se viabilize, daí surge o papel do Estado na implantação de políticas públicas para o fomento da produção e utilização dessa fonte de energia em toda a cadeia econômica.

PALAVRAS-CHAVE:

Sustentável; fonte de energia; hidrogênio verde.

under development, which makes it expensive, much remains to be done for such technology to become viable, hence the role of the State in the implementation of public policies to encourage the production and use of this source of energy. throughout the economic chain.

KEYWORDS:

Sustainable; power supply; green hydrogen.



1. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, a emissão de gases poluentes aumentou drasticamente, colaborando gradativamente para a aceleração das problemáticas ambientais. Em consequência dos atos humanos ocorridos nos últimos 3 séculos, constata-se um desequilíbrio ambiental. O degelo de montanhas em regiões próximas aos polos, excesso de calor, de frio, nada parece persuadir o ser humano a mudar seu comportamento.

A insegurança climática e a injustiça ambiental ganharam foco, os desastres ambientais desconhecem fronteiras e limites, atingindo a todos de formas desiguais, principalmente os países com menos recursos para combater e se recuperar desses eventos.

No que tange aos meios de locomoção e de fontes de energia para a indústria, novas matrizes energéticas estão sendo desenvolvidas para suprir esta demanda, como as baterias elétricas desenvolvidas por lítio.

Nesse contexto, surge o hidrogênio. Deixado de lado no passado em razão de seu potencial inflamável, atualmente é visto como parte da solução e viabilização da transição energética.

O Brasil tem um grande potencial para ser o destaque global nessa transição, sobretudo com a produção e exportação do hidrogênio verde, qual seja, aquele obtido através de fontes renováveis, simplesmente por possuir uma vasta extensão territorial localizada em zona tropical detentora de condições altamente favoráveis à geração de energia fotovoltaica, eólica e de biomassa.

No entanto, há falta de incentivo, falta de diálogo e, principalmente, de políticas públicas que incentivem e subsidiem o hidrogênio verde, que pode vir a ser grande fonte de divisas ao Brasil com a sua exportação, bem como contribuir para o cumprimento da Agenda 2030 e os 17 objetivos da ODS. Logo, o problema da pesquisa visa esclarecer se o hidrogênio verde é de fato a melhor solução para a transição energética e, ainda, de que formas as políticas públicas podem auxiliá-la, referenciando-se, também, as implementações realizadas no exterior.

Logo, este pretense estudo tem como objetivo geral apresentar um panorama acerca das políticas existentes a nível de Brasil que tenham como foco a implantação do hidrogênio verde como matriz energética viável no cenário atual; e, como objetivos específicos, trazer uma análise das políticas públicas, em especial quanto às políticas ambientais, apresentar o hidrogênio enquanto elemento químico, suas formas de obtenção e utilização, e, por fim, demonstrar como podem ser benéficas ao Brasil a produção e exportação dessa fonte de energia.



A realização desse estudo, dar-se-á através da análise documental do que já existe publicado a respeito, bem como do que existe a nível internacional sobre o tema, de forma a avaliar o que pode servir de exemplo para aplicação no Brasil, por meio de uma pesquisa qualitativa e dedutiva. Como produto, será elaborada uma cartilha com a finalidade de trazer a conhecimento público de que forma outras nações estão tratando das políticas de implementação do hidrogênio verde, o que o Brasil está fazendo, e o que poderia ser adotado a exemplo do que está sendo feito mundo afora.

2. A AGENDA 2030 E SUA IMPORTÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Embora os objetivos de desenvolvimento sustentável tenham abrangido diversos tópicos envolvendo questões dos pilares econômicos e sociais do desenvolvimento sustentável, a questão ambiental também representa um grande desafio, uma vez que atingir o desenvolvimento sustentável significa atingir todos esses objetivos aliados à preservação do meio ambiente.

Assim, os dezessete objetivos foram definidos tendo por base os seguintes tópicos adiante ilustrados:

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: <https://www.gov.br/mre/pt-br/assuntos/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/desenvolvimento-sustentavel/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>

De fato, perseguir as metas estabelecidas em 2015, é fundamental para a garantia de um futuro de paz e prosperidade à humanidade. Futuro esse que não poderá ser alcançado sem o combate à pobreza, a preservação do meio ambiente e da atenção ao clima.

Dentre os objetivos que mais se coadunam ao tema deste trabalho, e que, inclusive, constituem uma de suas bases, é o de número 7, o qual apresentamos a seguir:

Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.

7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio (ONU,2015).

Desse modo, diante da emergência climática à qual o planeta se submete nesse momento, perseguir as metas dos ODS, especialmente a de número 7, constitui uma ação inadiável para se garantir o futuro do desenvolvimento da sociedade global, conforme será melhor abordado no próximo tópico.

3. DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Conforme informações trazidas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a questão da emergência climática vivida pelo nosso planeta já é uma ciência suficientemente consolidada.

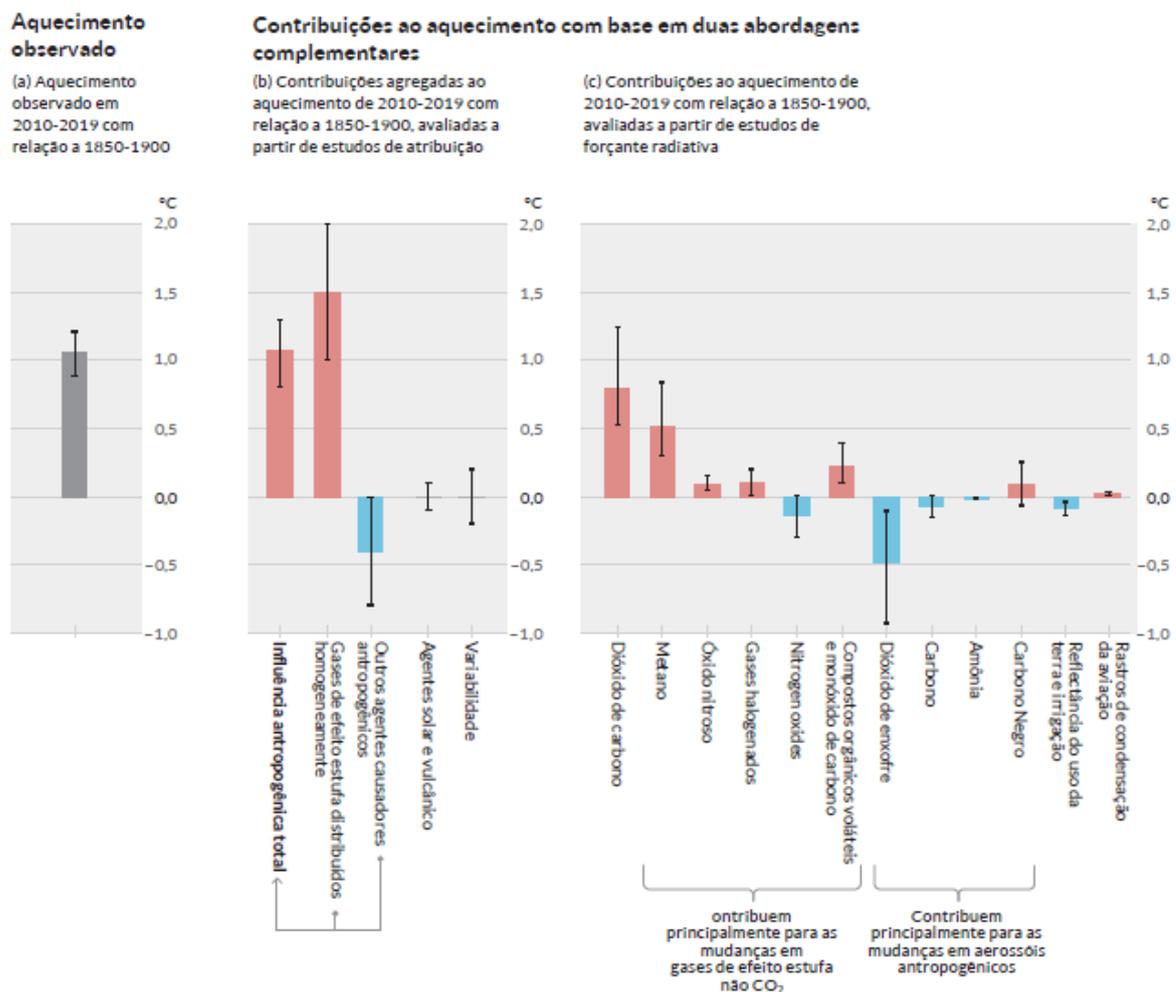
De acordo com dados reunidos pelo PNUMA, que consolidou dados elaborados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), é possível afirmar que a mudança no clima é real, ou seja, já se afastaram as hipóteses de ciclos e variações normais do clima, e a principal causa são as atividades humanas, sendo que a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera tem relação direta com as médias de temperaturas globais (PNUMA, s.d).



A concentração dos gases de efeito estufa tem aumentado de forma contínua desde a revolução industrial, bem como as temperaturas globais, sendo que o mais abundante é CO₂ (Dióxido de Carbono), correspondendo a dois terços da quantidade de GEE (PNUMA, s.d).

A ilustração abaixo traz uma evidência de como esse aquecimento se acentuou em um nível sem precedentes desde a revolução industrial, bem como os principais elementos que contribuíram para a ocorrência desse fenômeno:

Figura 2 - Aquecimento observado e contribuições ao aquecimento



Conforme é possível observar ao se analisar o gráfico, o dióxido de carbono, o metano e outros gases compostos por carbono foram os elementos que mais contribuíram para a consolidação do aquecimento global no período analisado. Esses dados reforçam veementemente a necessidade de se revisar os padrões de consumo e geração de energia, uma

vez que, conforme citado anteriormente, a maior parte das emissões tem a sua geração como sua principal causa.

Um outro elemento preocupante, e que é responsável por mais de 25% do aquecimento verificado atualmente, é o metano, o principal formador do gás natural. Trata-se de um poluente significativo e que, por si só, possui capacidade de aquecimento global superior a 80 vezes o CO₂ durante os 20 anos posteriores à sua emissão na atmosfera (PNUMA, s.d).

Diante dessa realidade, é possível afirmar que a manutenção de um espaço possível de habitarmos depende, mais do que nunca, de uma significativa redução nas emissões de CO₂, que, para ser alcançada, necessita de uma sociedade de baixo carbono (Harduim, 2023).

O antropoceno, como é chamado o período em que vivemos atualmente, é notoriamente caracterizado pelos impactos globais decorrentes das atividades humanas, causados, sobretudo, em razão da maior concentração dos gases de efeito estufa liberados na atmosfera, sendo que a maior parte deles é originada a partir dos setores produtivos de energia. Por essa razão, é impreterível que as matrizes energéticas sejam reinventadas em novos arranjos ecossociais. Essa é a nova necessidade do nosso tempo histórico (Harduim, 2023). De acordo com Acosta (2016), o que vige atualmente são os diversos questionamentos referentes ao regime energético baseado na queima de carbono, principalmente atrelados não somente à finitude dos combustíveis fósseis, mas também aos limites ambientais decorrentes do uso exagerado.

Como já ponderado, além de ser mencionado que os recursos energéticos são finitos, os gases que resultam do seu uso causam a crise ecológica global, somado ao fato de que as reservas se encontram em poucos lugares do planeta, resultando em pressões bélicas e desigualdades em busca desses recursos. Logo, ao utilizar uma economia solar, por exemplo, há a descentralização da geração de energia, permitindo um controle comunitário do sistema energético (Acosta, 2016), favorecendo inclusive, no caso do Brasil, a produção do hidrogênio verde.

Para Acosta, ainda se deve considerar a energia a partir de uma perspectiva social, política e histórica, pois o tipo de energia utilizada permite compreender a estrutura estatal em que se vive. Como exemplo, durante a escravidão, há aproximadamente duzentos anos, os Estados deveriam ser autoritários a ponto de possibilitar que mais da metade da população trabalhasse sem direitos ou salários em benefício de outra parte da população. Logo, era necessária uma grande concentração de poder para que fosse canalizada a energia humana



escrava ao cumprimento de determinados objetivos econômicos, e como consequência, viu-se que a questão energética não é apenas técnica, e sim, política (Acosta, 2016).

Em razão do exposto, a transição energética tem sido apresentada como uma solução para o problema relatado, por constituir uma mudança na forma de se consumir e de se produzir energia, por meio da substituição do uso das fontes de energia não renováveis e poluentes já conhecidas, como petróleo, gás natural, carvão mineral por fontes de energia renováveis e limpas, tais como a energia eólica, solar e o hidrogênio verde (Suçuarana, s.d).

Essa mudança se baseia na segurança energética e redução de impactos ambientais, uma vez que o hidrogênio pode ser obtido de diversas fontes locais de cada país, diminuindo ou evitando a importação de energia. Soma-se a isso, a redução dos impactos ambientais, vez que o hidrogênio para geração de energia elétrica não produz gases do efeito estufa, tendo como único subproduto a água, bem como as emissões são significativamente reduzidas na queima do hidrogênio em motores de combustão interna ou queimadores para a geração de calor (CGEE, 2010).

Porém, é sabido no contexto internacional que essa mudança da matriz energética para uma baseada em combustíveis alternativos e renováveis pode levar décadas, levando em consideração os custos e as barreiras técnicas como armazenamento, transporte e distribuição.

Dito isso, torna-se notório que, tendo em vista que as tecnologias necessárias para a viabilização do hidrogênio verde ainda estão em desenvolvimento, o Estado, bem como a iniciativa privada terão um papel fundamental para a consecução desse objetivo, por meio de parcerias e políticas públicas específicas para esse fim.

4. O USO DO HIDROGÊNIO COMO FONTE DE ENERGIA

Na atualidade, muitos especialistas atrelam o aumento da emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), ao aumento da temperatura média anual da biosfera do planeta, ou como conhecido, o efeito estufa, principalmente pela utilização massiva de fontes fósseis de energia (CGEE, 2010).

Aliado a esse impacto ambiental, tem-se o aumento do preço do petróleo e a crescente demanda energética mundial, em especial em países em desenvolvimento como o Brasil, Índia e China, razão pela qual tem sido incentivada a utilização de fontes renováveis de energia, principalmente aquelas com menores impactos ambientais. No caso em especial do Brasil, o



país conta com altos potenciais hidráulico, solar e eólico, bem ainda, o etanol da cana-de-açúcar (CGEE, 2010). A implantação de tecnologias que utilizam o hidrogênio é considerada, nesse cenário, como a melhor alternativa frente aos combustíveis fósseis nos transportes, já que se trata de uma opção que apresenta reduzidos impactos ambientais (CGEE, 2010).

Apesar da notoriedade atual, a ideia da utilização do hidrogênio como fonte de combustível é antiga, tendo início com o cientista britânico chamado Henry Cavendish, em 1776, que conseguiu isolar o elemento em uma experiência na qual produziu água, combinando oxigênio e hidrogênio com uma centelha elétrica. Em 1785, o francês Antoine Laurent Lavoisier conseguiu repetir a experiência de Cavendish, mas nomeou os elementos resultantes de oxigênio e hidrogênio, que na experiência de Cavendish, o cientista havia nomeado respectivamente de “ar sustentador da vida” e “ar inflamável” (Orsini, 2012).

Em 1839, William Robert Grove passou a desenvolver células a combustível (ORSINI, 2012). Já nos anos 20, o hidrogênio passou a ser comercialmente produzido pelas “primeiras células eletrolíticas, pela hoje conhecida Electrolyser Corporation do Canadá, uma das maiores montadoras de fábricas de hidrogênio eletrolítico do mundo” (Orsini, 2012, p. 46). Entre os anos 20 e 30, o elemento passou a ser explorado como combustível, tendo sido utilizado na Alemanha nos dirigíveis Zepelins. Contudo, o desastre com o dirigível Hindenburg, ocorrido em Nova Jersey, em 1937, quando toda sua estrutura se incendiou em menos de um minuto, deixando 36 mortos, acabou por dar fim à era dos dirigíveis. Parte da culpa foi atribuída ao hidrogênio utilizado como combustível, dada sua alta inflamabilidade (Altman, 2022).

Já entre 30 e 40, foi utilizado no país alemão e na Inglaterra em uma experiência em automóveis, caminhões e locomotivas, até mesmo em submarinos e torpedos (Orsini, 2012). Com o auge da indústria petrolífera, o hidrogênio ficou relegado à indústria de fertilizantes, bem como empregado em refrigerantes para motores e geradores, ganhando destaque novamente somente em 1973 com a crise do petróleo, ano em que surgiu a International Association for Hydrogen Energy (Orsini, 2012).

4.1 OS TIPOS DE HIDROGÊNIO

O hidrogênio, enquanto elemento mais abundante do universo, e ficando em quarto lugar no planeta Terra, despertou o interesse como potencial substituto de fontes não renováveis de energia em razão de seu baixo impacto ambiental e consequente descarbonização na



indústria. Ante esse contexto, a Comissão Europeia, em 2020, classificou o hidrogênio de acordo com a sustentabilidade de seu processo produtivo:

- Hidrogênio renovável: neste processo, a eletricidade que alimentará o eletrolisador provém de fontes renováveis. Pode ser produzido também por meio do biogás ou da conversão bioquímica da biomassa, desde que respeite os requisitos de sustentabilidade;

- Hidrogênio limpo: é o hidrogênio renovável;

- Hidrogênio baseado em fósseis: utiliza combustíveis fósseis como matéria prima, principalmente gás natural ou carvão, sendo altamente poluente;

- Hidrogênio de base fóssil com captura de carbono: nesse processo, os gases do efeito estufa são capturados e utilizados como parte da produção do hidrogênio. A emissão é menor comparada à forma anterior, porém, tem uma eficácia máxima de 90% no processo de captura desses gases;

- Hidrogênio de baixo teor de carbono: esse hidrogênio ainda é baseado em combustíveis fósseis, ocorrendo a captura de carbono e baseando-se em eletricidade;

- Combustíveis sintéticos derivados de hidrogênio: produção de combustíveis gasosos e líquidos baseados em hidrogênio e carbono. Para ser sustentável, parte do hidrogênio do gás de síntese deve ser renovável. Porém, cada combustível pode ser associado a níveis muito diferentes de emissões.

Há diversas classificações na literatura, sendo, de modo unificado, apresentadas abaixo em escalas de cor:



Figura 3 - classificação do hidrogênio

Cor	Classificação	Descrição
	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS
	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar).
	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS
	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear

Fonte: Elaborado a partir de IEA (2019a), H2-VIEW (2020), BAKER MCKENZIE (2020) e ZGONNIK (2020).

Fonte: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidrog%C3%A9nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidrog%C3%A9nio_rev01%20(1).pdf)

Cabe aqui destacar o significado da sigla CCUS empregada na classificação acima. Trata-se da sigla inglesa para *Carbon Capture, Utilization and Storage*. Na tradução para o português, trata-se da captura, utilização e armazenamento de carbono. O objetivo é a redução de emissões passíveis de aplicação em todo sistema de energia. Essa tecnologia abrange a captura de dióxido de carbono (CO₂), a combustão de combustível, o transporte de CO₂ por navio ou oleoduto, bem como sua utilização para criar outros produtos ou serviços com valor no mercado. Também é possível o armazenamento permanente no subsolo (Além da energia, 2020).

Feita essa abordagem acerca da classificação dos tipos de hidrogênio, passa-se para a análise dos métodos de obtenção do hidrogênio verde.



4.2 COMO O HIDROGÊNIO VERDE É OBTIDO?

Apesar da abundância do hidrogênio na natureza, a sua obtenção atualmente só pode ser realizada a partir de processos químicos em que são necessários outros elementos para a separação de moléculas. No entanto, quando esses procedimentos envolvem combustíveis fósseis, como explicado anteriormente, o processo ganha o nome de hidrogênio cinza, em decorrência das emissões realizadas durante este processo (Batagliotti, 2022).

Assim, a chamada variedade verde do hidrogênio é obtida utilizando-se a eletricidade de fontes renováveis para a devida separação das moléculas de água em átomos de hidrogênio e oxigênio (Niranjan, 2023).

Outras fontes de energia que podem ser utilizadas para obtenção do hidrogênio verde são a biomassa e o biogás. A biomassa é simplesmente a utilização de matérias orgânicas para produção de energia, podendo ser de origem vegetal e mineral, como carvão, ou até mesmo, o bagaço da cana de açúcar (Batagliotti, 2022).

Já o biogás, é obtido a partir da degradação dos materiais orgânicos na ausência do oxigênio (Além da energia, 2020). Dessa decomposição, surgem substâncias tóxicas como o sulfeto de hidrogênio e o metano, podendo ser utilizados para produção de energia, mas devem ser purificados para ser obtido dali o hidrogênio verde (Batagliotti, 2022).

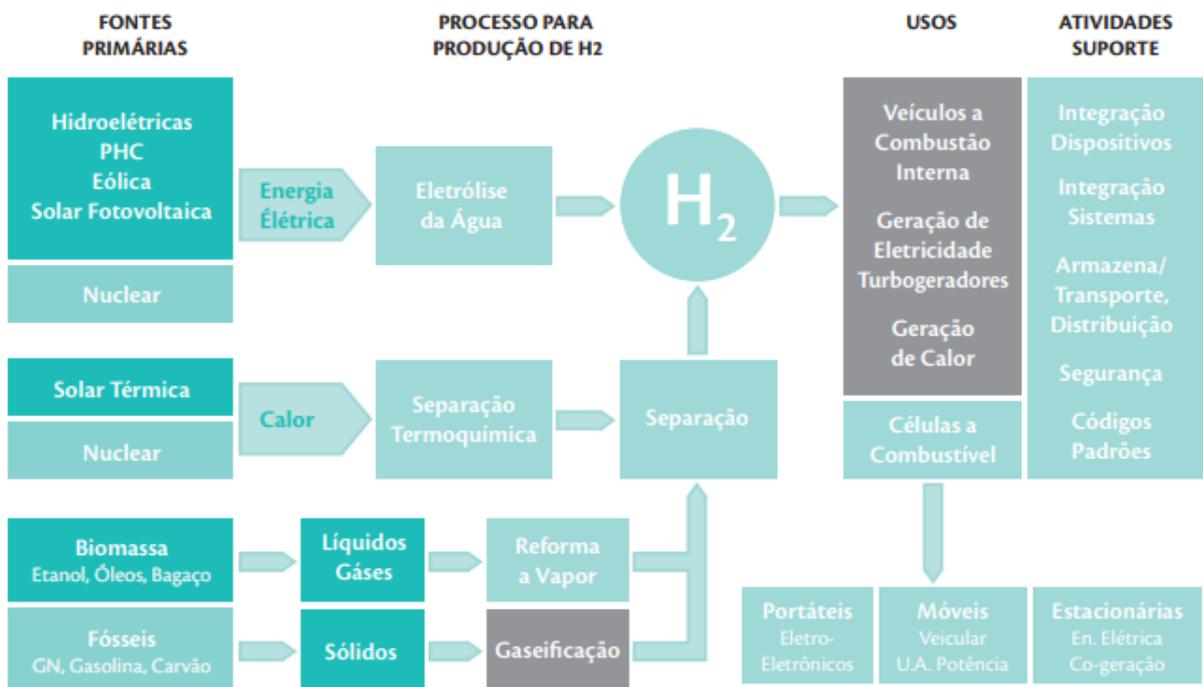
A utilização do hidrogênio é muito ampla, podendo ser implementada em diversos setores da indústria que possam se beneficiar de seu uso, até mesmo nos setores que apresentam dificuldades na descarbonização do segmento, como mineração e indústria química. Como exemplo de sua utilização a fim de demonstrar a importância de seu investimento, podem ser citados setores como de combustíveis automobilísticos, e até mesmo na agricultura (Batagliotti, 2022).

A utilização do hidrogênio como fonte de energia, utilizando como base biomassas e biocombustíveis (como o etanol) ou até mesmo utilizando a energia elétrica de fontes renováveis, tornando-a uma energia transportável e armazenável, tem sido avaliada como uma das formas mais eficientes e ambientalmente interessantes, principalmente quando da utilização de células a combustível para conversão do hidrogênio em energia elétrica (CGEE, 2010). Por essa característica do hidrogênio, qual seja, sua produção através dos mais diversos insumos e processos, é considerado um elemento de integração entre diversas tecnologias.



Como afirma Ramos (2022), o hidrogênio destaca-se como fonte de energia por se constituir tanto como um vetor energético, assim como é a eletricidade, quanto como um combustível primário, tal qual os combustíveis fósseis. Seu poder calorífico é quase três vezes maior do que o diesel, a gasolina e o gás natural, com a vantagem de poder ser produzido a partir de diversas fontes de energia e por vários tipos de tecnologias.

Figura 4 - Possíveis rotas para produção e utilização do hidrogênio como vetor energético:

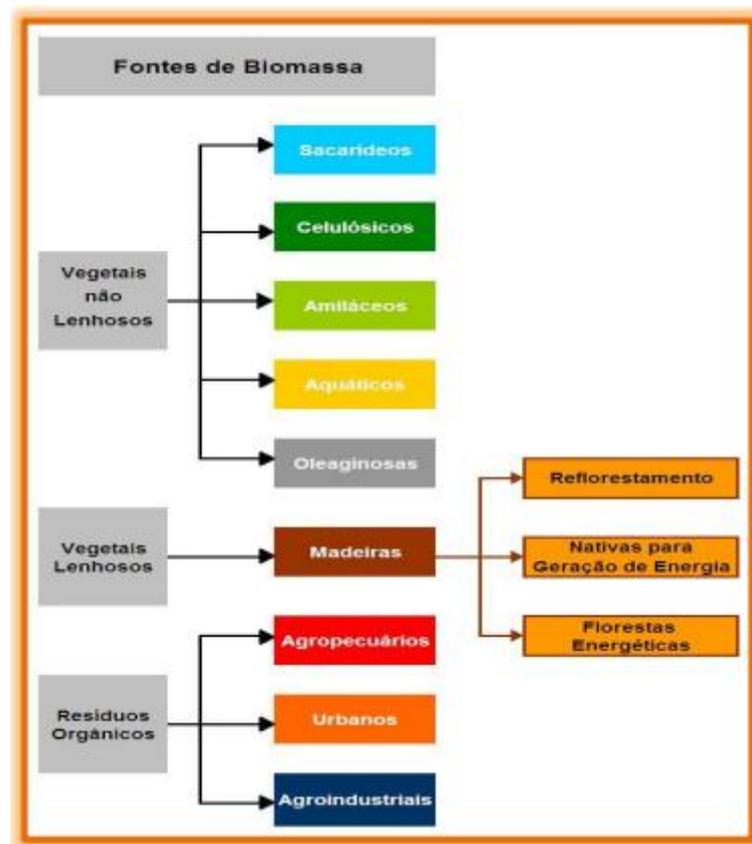


Fonte: CENEH -citado por CGEE (2010).

De acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas em seu material “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio” (2021), dentre as fontes renováveis de matéria-prima que podem ser utilizadas na produção de hidrogênio, encontram-se a água (H₂O), a biomassa e os biocombustíveis líquidos e gasosos, tais como o etanol e o biogás/biometano, por exemplo. Para a realização da eletrólise, duas tecnologias se destacam: a Alcalina Clássica e a de Membrana Polimérica Eletrolítica (PEM – Polymer Electrolyte Membrane). Ciclos termoquímicos também podem ser utilizados para quebrar a molécula da água e produzir hidrogênio, no entanto, estas tecnologias exigem elevadas temperaturas e uso de substâncias intermediárias que podem ser regeneradas.

O processo que utiliza a conversão de biomassa e biocombustíveis em hidrogênio pode ocorrer por processos de gaseificação, reforma ou processos biológicos. Certas características da biomassa, como o menor conteúdo energético e maior umidade, deixam o processo de gaseificação mais difícil quando comparado ao carvão mineral. O gás resultante da síntese de gaseificação, além do hidrogênio, é rico em monóxido de carbono, o que implica em uma etapa de separação para obtenção do hidrogênio puro (EPE, 2021).

Figura 5- Fontes de biomassa



Fonte: ORSINI, 2012, adaptado de Cenbio, 2009

Para Vasconcellos (2002), o Sol é um gigante reator energético, e por essa razão, a terra do Sol, o Brasil, tende a se tornar o centro mundial da energia armazenada, sendo o lugar ideal para a energia verde, vegetal, da biomassa.

Ainda, sobre a biomassa, para Orsini (2012), o Brasil, por ter uma vasta área territorial em regiões tropicais e chuvosas, pode oferecer ótimas oportunidades para produção e utilização energética da biomassa em larga escala, pois além da produção de álcool, queima em fornos,

caldeiras e outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica, que pode ser utilizada para posterior geração do hidrogênio verde.

4.3 DO POTENCIAL BRASILEIRO PARA APLICAÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE

Perante a emergente temática da questão climática, diversos indicadores têm demonstrado a necessidade de mudança radical da forma como o ser humano lida com a natureza. Tanto no que se refere à prática extrativista, como na busca de soluções práticas para manutenção da sociedade humana enquanto espécie que luta contra as mudanças climáticas, sem isso implicar em redução de qualidade de vida. No entanto, não se pode negar a devastação causada e a necessidade de busca de novas formas de recursos e freada do estilo de vida capitalista.

Neste contexto, a América Latina sempre foi exportadora de recursos naturais, tendo sua economia baseada em um setor primário, tanto de ouro na época da colonização, como atualmente de alimentos, madeira e minerais. No Brasil, ocorreram as maiores perdas em nome da globalização. Em 2012, a exportação foi de quase seiscentos milhões de toneladas de recursos naturais, seguida da Colômbia, muito atrás, com aproximadamente 120 milhões de toneladas. Logo, a economia brasileira é marcadamente dependente da venda de matérias-primas e ocasionou uma crescente desindustrialização nos últimos anos (Gudynas, 2019).

No entanto, centrando-se no futuro e no crescente mercado de busca de recursos renováveis, a geração de hidrogênio verde pode ser uma ótima oportunidade ao Brasil, ante a grande quantidade de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar gerada pelo setor sucroalcooleiro (Batagliotti, 2022).

O potencial brasileiro de produção de hidrogênio verde foi destaque em um estudo da BloombergNEF, em razão de ser um dos poucos países do mundo que possui capacidade de oferecer o combustível a um custo inferior a US\$ 1 por quilo até 2030. Em uma projeção a longo prazo, esse custo pode inclusive reduzir para US\$ 0,55 até 2050. Entretanto, a viabilização desse cenário demandaria um alto investimento da indústria, cujo montante chegaria aos US\$ 200 bilhões de dólares, de acordo com uma estimativa realizada pela consultoria McKinsey (Bethonico, 2023).

Vale mencionar, ainda, o grande potencial que o hidrogênio apresenta no mercado agrícola, em especial quando se fala da produção de fertilizantes, já que apesar de atualmente a



produção ser feita à base de gás natural, é possível a sua substituição por hidrogênio (Batagliotti, 2022).

Recentemente, essa questão ganhou notoriedade, quando, em meados de 2022, a UNIGEL, multinacional brasileira e segunda maior petroquímica do país anunciou a instalação de uma das maiores fábricas de hidrogênio verde do mundo no município de Camaçari, Estado da Bahia. Apenas em sua primeira fase, a planta terá capacidade de produzir 10 mil toneladas de hidrogênio verde por ano e 60 mil toneladas de amônia verde. Em uma segunda etapa, a partir de 2025, a previsão é de que essa produção quadruplique (Fucuchima, 2022).

O Brasil nessa corrida tem uma posição privilegiada, por possuir uma extensa costa e uma grande incidência de sol. Logo, o país tem um dos menores custos marginais para a geração de energias renováveis, barateando o processo da eletrólise. Em 2021, os investimentos anunciados para construção de usinas produtoras de hidrogênio verde já somavam mais de US\$ 22 bilhões, concentrados em portos como Pecém-CE, Suape-PE, e Açú-RJ (Mantovani, 2021).

De acordo com Alvarenga (2021), CEO da thyssenkrupp na América do Sul, e vice-presidente da Câmara Brasil-Alemanha de São Paulo, o Brasil tem um grande potencial para geração de energia elétrica renovável com um dos menores custos de produção, mencionando que atualmente 80% da energia elétrica do país já vem de fontes renováveis, dando destaque para a energia hídrica, eólica, solar e a biomassa. Dada a intermitência das fontes solar e eólica, o país ainda pode contar com o potencial hídrico, colocando-o em destaque como potencial produtor de hidrogênio verde.

O potencial brasileiro para produção de hidrogênio verde com baixo custo é tão notório que o país tem se tornado um dos maiores alvos de investimentos da Alemanha para projetos de produção do combustível. A Alemanha tem grande interesse na importação do combustível, dada sua matriz energética altamente dependente de combustíveis fósseis e suas grandes limitações na geração de energia renovável.

A aposta é que o Brasil se torne um grande exportador mundial do combustível. De acordo com informações da consultoria alemã Roland Berger, o Brasil é o país que irá comandar a corrida na produção e exportação do hidrogênio, estimando-se que o mercado brasileiro do H2V alcançará a cifra anual de R\$ 150 bilhões, sendo que aproximadamente R\$ 100 bilhões terão origem apenas nas exportações (Soares, 2023).



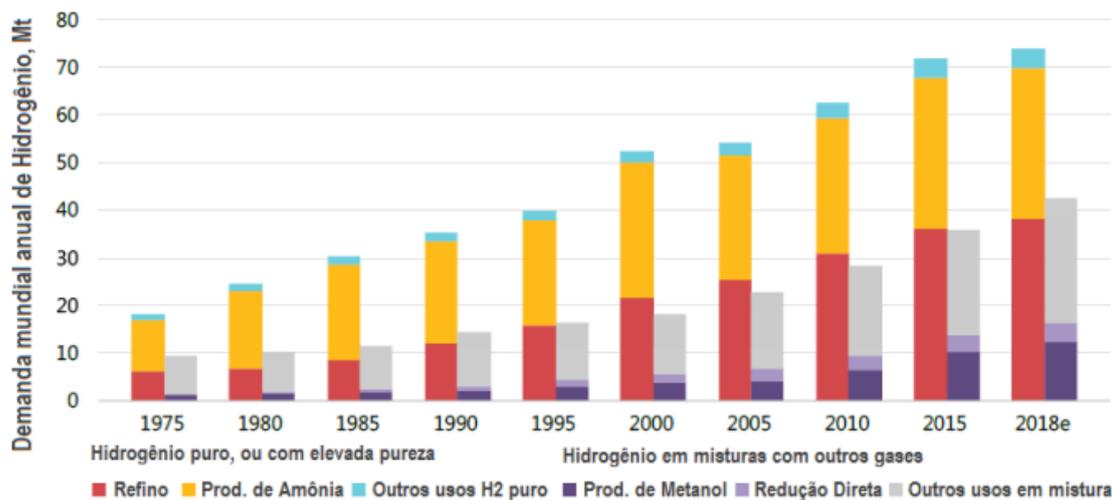
Assim, feita essa breve apresentação acerca do potencial brasileiro na corrida pelo chamado “combustível do futuro”, passa-se à análise do hidrogênio como um dos elementos primordiais para a viabilização da transição para uma economia mais verde.

5. QUAIS SÃO AS POLÍTICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO HIDROGÊNIO NO BRASIL E NO MUNDO?

De acordo com as Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, em 2018, a demanda mundial por hidrogênio foi de 115 Mt, sendo 73 Mt de hidrogênio puro. Já a produção de amônia para fertilizante e o refino do petróleo responderam por 96% da demanda de hidrogênio puro. Por sua vez, a demanda de hidrogênio em misturas com outros gases foi de 42 Mt; e a produção de metanol respondeu por 29%, a redução direta na indústria do aço respondeu por 7% e o restante em outros usos diversos.

Abaixo, segue a evolução da demanda de hidrogênio puro e em mistura com outros gases, por aplicação:

Figura 6 - Evolução da demanda mundial por hidrogênio



Fonte: IEA (2019) – International Energy Agency (2019). The Future of Hydrogen. Seizing today’s opportunities. Report prepared by the IEA for the G20, Japan. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2803..> Em: Empresa de Pesquisa Energética - https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20.pdf



De acordo com Mantovani (2021), o hidrogênio verde já é uma tendência solidificada na Europa, e como combustível, já é uma realidade nos Estados Unidos, Rússia, China, França e Alemanha. No Japão, há a meta de se tornarem a economia de hidrogênio. A nível sul-americano, o Chile, em 2020, anunciou a meta de em duas décadas figurar entre os três maiores exportadores de hidrogênio verde do planeta, já a Colômbia também quer desenvolver uma indústria do gás, e está em busca de mercados para exportação.

A União Europeia, com vistas a manter a posição de liderança mundial no domínio das energias renováveis, publicou a Diretiva Energias Renováveis revista (Diretiva UE 2018/2001), que ficou conhecida como RED II. Essa diretiva tem por objetivo auxiliar a União Europeia a cumprir o compromisso de redução de emissões firmado no Acordo de Paris e tentar atingir a neutralidade carbônica até 2050 (Gil, 2021).

Na Alemanha, foi estabelecida em 2020 a Estratégia Nacional do Hidrogênio, que pretende investir €9 bilhões em projetos, não somente em seu território, mas em outras localidades, visando garantir o suprimento de hidrogênio verde para o mercado local. O governo considera o hidrogênio verde como a principal opção para que o país se torne neutro climaticamente até 2050 (Alvarenga, 2021).

De acordo com o Portal Hidrogênio Verde, quanto mais barata a energia utilizada para geração do hidrogênio verde, maior a probabilidade de expansão da cadeia produtiva. Nesse contexto, já se destacam a China, a Mongólia, a Austrália, o Marrocos e o Chile (Portal do Hidrogênio, s.d).

No Chile, será construída uma planta comercial integrada, tendo como foco a produção em escala industrial de combustível de neutralidade climática, ou e-fuel, por meio de uma combinação de hidrogênio produzido a partir da energia eólica e CO₂ capturado do ar. O projeto chamado “*Haru Oni*”, o projeto terá investimentos do governo federal alemão na ordem de € 8,23 milhões e conta com diversos parceiros internacionais (Portal do Hidrogênio, s.d).

No entanto, a maior problemática atual é o custo. O hidrogênio verde custa cerca de duas a três vezes mais caro do que o hidrogênio azul. No entanto, é estimado que esses custos caiam até 62% até 2030, ou seja, algo aproximado entre US\$ 1,4 e US\$ 2,3 por quilo, colocando em paridade o custo do hidrogênio verde e do hidrogênio cinza entre 2028 e 2034 e com projeções abaixo de US\$ 1 por quilo em 2040 (Portal do Hidrogênio, s.d).

Como é possível perceber, a consolidação de uma verdadeira economia de hidrogênio em nível global apresenta diversos desafios, que são, desde a formalização de uma política



regulatória que abranja as especificidades dessa nova matriz energética até a implementação de uma sólida estrutura econômico-financeira. Embora alguma redução nos custos já possa ser observada em relação ao que se tinha há alguns anos, a expansão do hidrogênio verde requer uma robusta atuação de políticas públicas (Aquino; Chaves; Ivo, 2022).

Para Sachs (2009), há uma grande expectativa no progresso de países em desenvolvimento "na invenção de seus padrões endógenos de desenvolvimento mais justos e, ao mesmo tempo, com maior respeito pela natureza". De acordo com o autor, a partir do controle do potencial de biomassa nos trópicos favorece os países do chamado Terceiro Mundo a chance de pular etapas, ao contrário de outros países desenvolvidos, contribuindo na luta contra o aquecimento global e no uso racional da Natureza. De acordo com o autor, "O Brasil e outros países tropicais têm todas as condições de se tornarem exportadores da sustentabilidade, transformando o desafio ambiental em uma oportunidade"(Sachs, 2009, p. 42).

Sendo assim, traz-se no próximo tópico um referencial acerca da formulação de políticas públicas para o hidrogênio verde, contendo alguns passos importantes para o aumento das chances da consolidação de uma economia mais descarbonizada por meio da utilização desse portador de energia.

6. EXEMPLOS DE FUNDAMENTOS PARA A ELABORAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O HIDROGÊNIO

A Organização Intergovernamental IRENA, sigla em inglês para Agência Internacional de Energia Renovável, elaborou um robusto relatório citando alguns pilares para a formulação de Políticas Públicas para o Hidrogênio Verde. A estratégia proposta baseia-se em quatro pilares políticos que servirão de fundamento para o estabelecimento de outras políticas específicas para que o hidrogênio saia de um mero nicho para alcançar um mínimo de penetração no mercado.

O primeiro dos pilares se trata da definição de Estratégias Nacionais. Esse pilar tem como início o estabelecimento de programas de pesquisas e desenvolvimento para que se entenda os princípios fundamentais dessa tecnologia. Após essa definição, o passo seguinte constitui-se na elaboração de um documento de visão onde se esclarece o “porque o hidrogênio”, o “por que o hidrogênio agora?”. Este documento orientará a pesquisa e os esforços da própria indústria. Nesta etapa, é comum e válido que esses documentos sejam



criados por governos e por agentes privados, geralmente atraídos pela expectativa de crescimento dessa inovação tecnológica. Além disso, a existência de parcerias público-privadas na implementação dessas políticas contribuem para a criação de um consenso e de um alinhamento de pontos de vista, o que pode mitigar os riscos da implantação e, facilitando, de fato, a transição (Irena, 2020).

Após a definição dessa estratégia, o próximo passo, ainda dentro desse primeiro pilar, é realizar uma análise conjunta do impacto econômico, social e ambiental das consequências da implantação das medidas definidas. Somente após essas análises, os regulamentos, leis e outros instrumentos normativos devem ser introduzidos (Irena, 2020).

O segundo pilar para a formulação de políticas é: estabelecer prioridades políticas para o hidrogênio verde. Nesse momento, os formuladores de políticas precisam realizar uma avaliação cuidadosa a fim de estabelecer as prioridades políticas para cada segmento da cadeia de valor do hidrogênio. A título de exemplo, o relatório cita que uma região com bons recursos de energia renovável pode usar a eletrólise para tornar o custo do hidrogênio verde mais competitivo, enquanto outra região ou mesmo em outro país, os formuladores de políticas podem considerar que a importação do hidrogênio é mais vantajosa, podendo este concentrar suas atividades em tecnologias que favoreçam a transição energética (Irena, 2020).

No exemplo citado acima pelo relatório, temos o caso do Brasil, que, conforme tratado no tópico 3.4 deste trabalho, possui um altíssimo potencial para a geração de hidrogênio verde, devido, sobretudo, às privilegiadas condições naturais aqui encontradas, sobretudo na região nordeste do país, em especial no que tange ao potencial de geração de energia limpa eólica e solar.

O terceiro pilar trata-se do regime de garantia de origem. Considerando que não é possível diferenciar uma molécula de hidrogênio verde de uma molécula de hidrogênio cinza, é fundamental que exista uma certificação que permita aos usuários, consumidores e ao próprio governo conhecerem sua origem e qualidade. Também é crucial que o modelo de certificação possa descrever de forma precisa todo o ciclo de vida do hidrogênio certificado, desde sua produção, transporte e uso final (Irena, 2020).

O quarto e último pilar institui um sistema de governança e políticas de habilitação para o hidrogênio verde. De acordo com o relatório, as políticas que incentivam a transição não devem abranger somente a implantação do hidrogênio verde, e sim sua integração em todo o sistema energético, de modo que são as políticas em todo o contexto econômico que garantirão



o ritmo da transição e sua sustentabilidade, lembrando que é imprescindível a participação da sociedade civil e da indústria (Irena, 2020).

Dentre as medidas sugeridas no relatório, é possível citar as seguintes: 1) que os formuladores de políticas procurem aconselhamento junto da sociedade civil e da indústria sobre propostas, ações e alterações da estratégia para o hidrogênio a depender do progresso; 2) implementação de medidas para manter a competitividade industrial e criar oportunidades para exportação, avaliando quais elementos da cadeia do hidrogênio podem ser fabricados no país, de acordo com sua capacidade industrial; 3) identificar oportunidades de crescimento econômico e geração de empregos; 4) introduzir o hidrogênio verde como parte da política de segurança energética; 5) construção ou reaproveitamento de infraestrutura, tais como a transformação de oleodutos e gasodutos para o transporte do hidrogênio; 6) garantir o acesso a financiamentos, por meio de apoio público e/ou privado; 7) definir pautas de hidrogênio como prioridades para pesquisas; 8) implantação de taxações para emissões de carbono; 9) eliminação gradual dos subsídios para combustíveis fósseis, à medida em que o hidrogênio verde passa a fazer parte do mercado.

Por fim, esses foram os pilares trazidos pela Agência Internacional para Energia Renovável para a formulação de políticas que tenham por objetivo a viabilização do hidrogênio verde como uma alternativa viável à descarbonização da economia. Foram sugestões e alguns exemplos que já são utilizados em algumas políticas internacionais e que podem subsidiar políticas também no território nacional. No próximo tópico, será realizada uma apresentação de como se retrata atualmente a política para o hidrogênio verde em nosso país.

7. O CENÁRIO BRASILEIRO DE POLÍTICAS DE HIDROGÊNIO

O Brasil está no início de uma política energética para o hidrogênio. No dia 04 de agosto de 2022, foi publicada a Resolução nº 06, de 23 de junho de 2022, do Conselho Nacional de Política Energética. Trata-se de um importante instrumento normativo para estabelecer a estrutura de governança do programa de hidrogênio no Brasil (Ministério de Minas e Energia, 2022).

Em que pese o assunto ter ganhado maior notoriedade atualmente, já há mais de 20 anos se fala no hidrogênio no Brasil.



Em 1995, o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação iniciou sua atuação na temática da Energia do Hidrogênio, e um dos primeiros grandes marcos foi a implementação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), em 1998. Em 2002, foi instituído pelo MCTI o Programa Brasileiro de Células a Combustível (ProCac), com o objetivo de “organizar e promover ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por intermédio de projetos associados entre entidades de pesquisa e a iniciativa privada” (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Em 2002, o programa foi reformulado, alterando seu nome para “Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio” (ProH2). Em 2003, o Brasil se tornou membro da Parceria Internacional para Hidrogênio e Células a Combustível na Economia – IPHE (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy), com meta de trocar informações governamentais, industriais e acadêmicas no assunto de células a combustível e o hidrogênio na sociedade. (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Já em 2005, foi publicado pelo Ministério de Minas e Energia o “Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, apresentando metas a serem atingida ao longo de 20 anos, como:

- i) a importância das diferentes rotas tecnológicas nas quais o Brasil pudesse ter vantagens competitivas;
- ii) o papel do gás natural na transição até o predomínio do hidrogênio verde;
- iii) a difusão nos mercados de geração distribuída, regiões isoladas e ônibus urbanos.

Passando para 2010, ocorreu a publicação pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) de “Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025”, que expôs recomendações para o incentivo à economia do hidrogênio, com a inclusão de ministérios (MCTI, MME e MMA, por exemplo), agências governamentais (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, CNPq, Finep, BNDES e Inmetro, por exemplo) e as instituições de pesquisa (Cepel, CPqD, INT e Lactec, por exemplo) para ações de curto (0 a 5 anos), médio (5 a 10 anos) e longo prazo (10 a 15 anos) (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Em 2012, ocorreu o Workshop Internacional sobre Hidrogênio e Células a Combustível (WICaC), que contou uma apresentação do MCTI mostrando algumas questões importantes após dez anos de investimentos em projetos:

- i) uma “euforia” no início dos anos 2000, que perdurou até 2008;



ii) após esse período, houve uma desaceleração de investimentos.

No Brasil, ocorreu também a alteração de prioridades na agenda de política energética, motivada, em parte, pelas descobertas de petróleo e gás na camada geológica do pré-sal em 2006 (EPE, 2021) (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Em 2017, foi criada a Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2), uma iniciativa com intuito de organizar melhor as ações e recursos públicos e privados, que gerou bons resultados com uma ação coordenada junto ao MCTI, MEC, MME, ANEEL, ANP e Eletrobras, entre outros (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Mais recentemente, em 2020, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) mostrou que o hidrogênio é uma tecnologia disruptiva e se apresenta como elemento importante no contexto da descarbonização da matriz energética (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Ocorreram, em 2021, diversos eventos (workshops, seminários e conferências) em que foram debatidas questões atinentes à importância de um programa nacional do hidrogênio, ao hidrogênio verde, e ao hidrogênio para América Latina e Caribe; e a HUBs de hidrogênio, no qual se observou que o Brasil está tratando do assunto do hidrogênio em nível nacional (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Nesse diapasão, o Conselho Nacional de Política Econômica (CNPE) publicou, em 2021, duas resoluções: a Resolução CNPE nº 2 de 2021, que orienta a priorização da destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustível - ANP para o hidrogênio, entre outras temáticas relacionadas ao setor de energia e transição energética; e a Resolução CNPE nº 6 de 2021, que trata de determinação para a proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021).

Ainda em 2021, o Brasil coliderou o Diálogo de Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia, apresentando o pacto energético sobre hidrogênio, que seria um compromisso que pretende acelerar o cumprimento das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que trata do acesso universal a energias limpas. Tratando-se do pacto energético sobre hidrogênio, objetiva tratar do desenvolvimento da indústria e mercado do hidrogênio no Brasil por meio da construção de uma base de conhecimento sobre esse vetor energético em três pilares (Programa Nacional do Hidrogênio, 2021):

i) políticas de pesquisa, desenvolvimento e inovação;



ii) capacitação e treinamento; e
iii) criação de uma plataforma para consolidação e disseminação de informações sobre hidrogênio no País.

Mais uma menção importante, trata da Aliança Brasil-Alemanha para o Hidrogênio Verde, que se trata de uma plataforma criada por entidades empresariais para auxiliar nas negociações de compra e venda de hidrogênio verde para a Alemanha, ressaltando a importância do Brasil como um fornecedor internacional, podendo colocar o país em um lugar de destaque como um dos celeiros energéticos na próxima década (Alvarenga, 2021).

Como é possível notar, atualmente a temática em torno de quem será o grande exportador mundial de hidrogênio está muito acirrada. Todos os países querem sê-lo, muitos de olho no potencial de consumo do continente europeu, bastante conhecido por suas dificuldades e limitações na produção de energia (Bethonico, 2023).

Contudo, a realidade atual é que o hidrogênio verde ainda é uma tecnologia nova e cara, o que não o torna competitivo atualmente. Ainda é necessário passar por uma maturação da tecnologia e também das questões referentes ao próprio mercado internacional. Especialmente no que tange ao Brasil, é necessário haver um planejamento de longo prazo, tanto no âmbito regulatório quanto no fomento à indústria (Bethonico, 2023).

É nesse momento que a importância das políticas públicas para o hidrogênio ganha destaque. É fundamental que exista um esforço estatal no sentido de se regular e incentivar o mercado de hidrogênio para que a transição energética se viabilize.

Corroborando essa questão, o relatório intitulado *Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition*, publicado pelo Conselho do Hidrogênio destaca a importância não só das já esperadas parcerias público-privadas, mas também a importância do apoio público na criação de demanda por infraestrutura, por meio de compras públicas de veículos e na regulação da frota, dando, como exemplo questões como regulação da frota por meio de benefícios para táxis ou frotas corporativas. É uma medida que já existe em alguns países e auxilia a reduzir o obstáculo ao investimento privado, incentivando e sinalizando os fabricantes a investirem mais na infraestrutura requerida pelo hidrogênio.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em 2015, a Organização das Nações Unidas propôs 17 objetivos contendo 169 metas de desenvolvimento sustentável, com o objetivo de definir um plano global para atingir um mundo melhor até o ano de 2030.

As conferências anuais do clima, promovidas pela ONU, são o principal evento destinado à discussão internacional sobre as mudanças climáticas. Na conferência climática realizada em novembro de 2022, na COP27, as discussões tinham a meta de sair das meras negociações e planejar de fato a implementação dessas políticas. Como exemplo, tratou-se sobre a mitigação das emissões de gases do efeito estufa, e o uso de novas tecnologias e fontes de energias renováveis.

Nesse quesito, a transição energética mostra-se como uma solução para o problema relatado. No entanto, as tecnologias necessárias para a viabilização do hidrogênio verde ainda estão em desenvolvimento e, por esse motivo, o Estado, bem como a iniciativa privada terão um papel fundamental para a consecução desse objetivo.

A utilização do hidrogênio como fonte de energia, tendo como base biomassas e biocombustíveis, ou a energia elétrica de fontes renováveis, tem sido avaliada como uma das formas mais eficientes e ambientalmente interessantes, principalmente quando se fala da utilização de células a combustível para conversão do hidrogênio em energia elétrica.

O Brasil, por ter uma vasta área territorial em regiões tropicais e chuvosas, oferece ótimas oportunidades para produção e utilização energética da biomassa em larga escala, e ainda, tem-se a biomassa com potencial no setor de geração de energia elétrica.

Esse crescente mercado de recursos renováveis favorece o Brasil, em função da grande quantidade de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar gerada pelo setor sucroalcooleiro. No entanto, a viabilização desse cenário demanda um alto investimento da indústria.

Ainda, o Brasil conta com uma posição privilegiada, por possuir uma extensa costa e uma grande incidência de sol, e por essa razão, tem um dos menores custos para a geração de energias renováveis, barateando o processo da eletrólise. Nesse setor, em 2021, os investimentos para a construção de usinas produtoras de hidrogênio verde já somavam mais de US\$ 22 bilhões. Esse potencial tem atraído a atenção de investidores, inclusive da Alemanha.

Na Alemanha, foi estabelecida, em 2020, a Estratégia Nacional do Hidrogênio, que pretende investir € 9 bilhões em projetos, não somente em seu território, mas em outras



localidades, incluindo o Brasil. No Chile, será construída uma planta comercial integrada, tendo como foco a produção em escala industrial de combustível de neutralidade climática, ou e-fuel, por meio de uma combinação de hidrogênio produzido a partir da energia eólica e CO2 capturado do ar.

O Brasil, por sua vez, está no início de uma política energética para o hidrogênio. No dia 04 de agosto de 2022, foi publicada a Resolução nº 06, de 23 de junho de 2022, do Conselho Nacional de Política Energética. Em 2017, foi criada a Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2). Em 2018, teve-se o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis. Em 2020, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) mostrou que o hidrogênio é uma tecnologia disruptiva e se apresenta como elemento importante no contexto da descarbonização da matriz energética. E, em 2021, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou as “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio”.

Em 2021, o Conselho Nacional de Política Econômica (CNPE) publicou duas resoluções: a Resolução CNPE nº 2, de 2021; e a Resolução CNPE nº 6, de 2021, que trata de determinação para a proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2). Ainda em 2021, o Brasil coliderou o Diálogo de Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia, apresentando o pacto energético sobre hidrogênio, que seria um compromisso que pretendia acelerar o cumprimento das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7).

A disputa pelo lugar de maior exportador/produtor de hidrogênio verde é acirrada, porém, o ponto negativo é o fato de ser uma tecnologia nova e cara, o que não o torna competitivo atualmente. É nesse momento que a importância das políticas públicas para o hidrogênio ganha destaque. Por esta razão, é fundamental que exista um esforço estatal no sentido de se regular e incentivar o mercado de hidrogênio para que a transição energética se viabilize.

9. REFERÊNCIAS

ACOSTA, Alberto. *O bem viver: uma oportunidade para imaginar outros mundos*. Tradução: Tadeu Breda. São Paulo: Autonomia Literária, Elefante, 2016.

AGENDA 2030. Disponível em: <https://portal.stf.jus.br/hotsites/agenda-2030/#:~:text=A%20Agenda%202030%20da%20ONU,17%20objetivos%20de%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1veis>. Acesso em: 24 ago. 2022.



ALÉM DA ENERGIA. *Como funciona o CCUS e a sua importância na transição energética*. Disponível em: <https://www.alemndaenergia.engie.com.br/como-funciona-o-ccus-e-a-sua-importancia-na-transicao-energetica/>. Acesso em: 17 jan 2023.

ALTMAN, Fábio. *Os dirigíveis estão voltando - agora com combustíveis seguros*. Revista Veja (on-line). Disponível em: <https://veja.abril.com.br/tecnologia/os-dirigiveis-estao-voltando-agora-com-combustiveis-seguros/>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ALVARENGA, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. In: *Revista Brasil Alemanha*. Ano 29, N. 01, outubro de 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

AQUINO, Thereza; CHAVES, Ana Carolina; IVO, Roberto. *O papel do financiamento nos projetos de hidrogênio verde na União Europeia: um exemplo a ser seguido*. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53216619/o-papel-do-financiamento-nos-projetos-de-hidrogenio-verde-na-uniao-europeia-um-exemplo-a-ser-seguido>. Acesso em: 17 jan. 2023.

BATAGLIOTTI, Julia. *ABC do hidrogênio verde*. 2022. Disponível em: <https://brasillalemanhanews.com.br/coluna-em-destaque/abc-do-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 09 jan. 2023.

BETHONICO, Thiago. *Entenda a corrida pelo hidrogênio verde e por que o Brasil pode ser uma potência*. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2023/01/entenda-a-corrida-pelo-hidrogenio-verde-e-por-que-o-brasil-pode-ser-uma-potencia.shtml>. Acesso em: 11 jan. 2023.

BUCCI, Maria Paula Dallari. *Direito Administrativo e Políticas Públicas*. São Paulo: Saraiva, 2002, p. 241.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2010. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5. Acesso em: 09 jan. 2022.

DYE, THOMAS R. *Understanding Public Policy*. 14 ed. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2013.

CAPELLA, Ana Claudia N. *Perspectivas Teóricas sobre o Processo de Formulação de Políticas Públicas*. Disponível em: https://perguntasapo.files.wordpress.com/2012/02/capella_2006_perspectivas-tec3b3ricas-sobre-o-processo-de-formulac3a7c3a3o-de-polc3adticas-pc3bablicas.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022.



HARDUIM, Luisa. *Sociedade de baixo carbono: o desafio do nosso século*. Fórum de Meio Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. Vol. 01, nº 01, mar. 2023.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). *Green Hydrogen: A Guide to Policy Making*. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MANTOVANI, Paulo. *Hidrogênio verde: Brasil abre as portas para a energia do futuro*. Disponível em: <https://www.revistacobertura.com.br/noticias/artigos/hidrogenio-verde-brasil-abre-as-portas-para-a-energia--do-futuro/>. Acesso em: 09 dez. 2022.

MENDES, G. F; PAIVA, P. *Políticas Públicas no Brasil*. São Paulo: Saraiva, 2017. E-book.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2): Propostas e Diretrizes* (julho de 2021). Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-dohidrogenio-pnh2/HidrogênioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2022,

MULLER, Pierre; SUREL, Yves. *A análise das políticas públicas*. Traduzido por Agemir Bavaresco, Alceu R. Pelotas: Educat, 2002. Disponível em: <https://docplayer.com.br/27855597-A-analise-das-politicas-publicas.html>. Acesso em: 05 out. 2022.

NIRANJAN, Ajit. *Os desafios para ampliar a produção de hidrogênio verde*. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/quais-s%C3%A3os-os-desafios-para-ampliar-a-produ%C3%A7%C3%A3o-de-hidrog%C3%AAnio-verde/a-64625843#:~:text=Hidrog%C3%AAnio%20verde%2C%20azul%20ou%20cinza&text=A%20variedade%20verde%20%C3%A9%20fabricada,que%20emite%20di%C3%B3xido%20de%20carbono>. Acesso em: 13 fev. 2023.

ORSINI, Rosely dos Reis. *Estudo do aproveitamento do resíduo da lavoura cafeeira como fonte de biomassa na produção de hidrogênio*. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE. Site. sd. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br>. Acesso em: 09 jan. 2023.

RAMOS, Camila. *O papel do hidrogênio verde na transformação do setor elétrico*. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53215097/o-papel-do-hidrogenio-verde-na-transformacao-do-setor-eletrico>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Org. Paula Yone Stroh. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SOARES, João Pedro. *Hidrogênio verde promete turbinar parceria Brasil-Alemanha*.



Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/hidrog%C3%AAnio-verde-promete-turbinar-parceria-brasil-alemanha/a-64599718>. Acesso em: 13 fev. 2023.

SCHMIDT, João Pedro. *Para estudar políticas públicas: aspectos conceituais, metodológicos e abordagens teóricas*. Revista do Direito, Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 56, jan. 2019. ISSN 1982-9957. Disponível em: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/direito/article/view/12688>>. Acesso em: 13 out. 2022

SMITH, Kevin B. e LARIMER, Christopher W. *The Public Policy Theory Primer*. Boulder- - CO, Westview Press. 2009.

SUÇUARANA, Monik da Silveira. *Descarbonização da Economia*. Disponível em: <https://www.infoescola.com/ecologia/descarbonizacao-da-economia/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

TEIXEIRA, E. C. *O papel das políticas públicas no desenvolvimento local e na transformação da realidade*. AATR – BA, 2002. Disponível em: http://www.dhnet.org.br/dados/cursos/aatr2/a_pdf/03_aatr_pp_papel.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

Sobre os autores:

Priscila Elise Alves Vasconcelos | E-mail: prisvascon@gmail.com

Professora Adjunta do Instituto de Ciências Jurídicas - CCJ - da Universidade Federal de Roraima. Coordenadora do DINTER UFRR UERJ. Coordenadora do Mestrado em Administração Pública Rede PROFIAP Pólo UFRR. Pós-Doutorado em Direito das Cidades pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ (2020). Doutora em Direito pela Universidade Veiga de Almeida - RJ (2018/2020). Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios na Universidade Federal da Grande Dourados - Mato Grosso do Sul (2016/2017). Graduada em Direito pela Universidade Cândido Mendes (2001). Curso de Extensão em Direito Processual Civil pela Universidade Cândido Mendes (2001). Especializada em Direito Público e Privado pela Escola de Magistratura do Estado do Rio de Janeiro - EMERJ (2005). Pós-graduada em Direito Público e Privado pela UESA (2006). Pós-graduada em Meio Ambiente pelo MBE/COPPE/UFRJ (2014). Professora Colaboradora do Programa de Mestrado e Doutorado em Agronegócios da UFGD (MS) desde 2021. Professora Voluntária da Pós Graduação lato sensu em Direitos Difusos e Coletivos da UEMS (desde 2019) Líder do grupo de pesquisa vinculado da UFRR e registrado no CNPQ "Direito Ambiental Econômico e Direito de Energia em prol da sustentabilidade na região Norte do Brasil". Atuou junto a instituições públicas e privadas e como consultora jurídica na área de Direito Ambiental Econômico. Aprovada em concursos públicos da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS (2015) para professor substituto da Faculdade de Direito em Direito Privado e Direito Público; e da Faculdade de Administração e Contabilidade - Unidade Ponta-Porã, na área de Direito. Professora na área de Direito Penal Parte Geral, Direito Penal Especial e Direito Processual Penal (curso de Direito) e Legislação Ambiental (curso de Ciências Biológicas), na Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul - UEMS-, unidade Dourados (2016/2017). Bolsista da FUNDECT (2016/2017). Revisora da Revista Brasileira de Energia - RB;. Revista Jurídica Direito, Sociedade e Justiça; Revista



Videre. Tutora da disciplina Indicadores Socioeconômicos no EAD UFGD (2017). Integrante da Comissão de Direitos Humanos da OAB Dourados Itaporã/MS (2021). Foi advogada atuante. Pesquisadora nas áreas de Direito Ambiental e Direito de Energia, com ênfase em energias renováveis, professora universitária e de cursos preparatórios. Palestrante convidada em Simpósios e Congressos na área de Direito Penal (2017). Aprovada no Doutorado em Direito na Universidade do Minho - Braga, Portugal - na linha de pesquisa de Ciências Jurídicas Publicistas (2017). Consultora ad hoc do projeto Universidade sem Fronteiras do Governo do Estado do Paraná (2018). Pesquisadora do GGINNS - Global Comparative Law: Governance, Innovation and Sustainability - Derecho Comparado Global: Gobernanza, Innovación y Sostenibilidad- Direito Comparado Global: Governança, Inovação e Sustentabilidade. Bolsista CAPES PROSUP UVA (desde 2018). Aprovada no Processo Seletivo Simplificado de Professor Substituto da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD - edital CCS 07/2019. Professora da Pós Graduação lato sensu em Direitos Difusos e Coletivos da UEMS. (desde 2019) Professora da FADIR UFGD nas disciplinas de Direito Civil, Direito Tributário, Direito Empresarial e Direito Constitucional (2019-2021). Professora do PPGD UNIFACVEST (2021).

Renata Marafon | E-mail: renatamarafon27@gmail.com

Doutoranda em Direito pela Universidade Federal do Paraná, área de concentração em Direitos Humanos e Democracia. Possui graduação em Direito pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (2013), especialista em Direito Administrativo (Anhanguera-Uniderp - 2015), em Direito Penal (Uniasselvi - 2020) e possui MBA em Finanças e Política Fiscal (Uniasselvi). Mestre em Direito e Desenvolvimento Sustentável (Unifacvest -2023). Servidora Pública Federal em Exercício na Assessoria de Legislação - Diretoria de Gestão de Pessoas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Participa do grupo de pesquisa "Direito Ambiental Econômico e Direito de Energia em prol da sustentabilidade na região Norte do Brasil" vinculado à UFRR. Faz parte do Ekoa (núcleo de pesquisa e extensão em direito socioambiental do Programa de Pós-graduação em Direito da UFPR). Tem interesse em pesquisas envolvendo Direito Ambiental, Direito Ecológico e Direitos da Natureza.

Roberto Miyashiro Junior | E-mail: robertojunior86@gmail.com

Possui graduação em Direito pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2009). Especialista em Gestão Pública Municipal pela Universidade Federal de Santa Catarina (UAB/UFSC). Especialista em Direito Tributário pela Universidade Anhanguera-Uniderp/LFG. Mestre em Direito e Desenvolvimento Sustentável pela UNIFACVEST. Atualmente é Auditor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

