

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO



**Hidrogênio verde:
Uma análise de suas possibilidades e possível competitividade brasileira dentro de
um panorama global.**

Rafael Cialdini Bastos Pinto

Número de matrícula: 2010850

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

Novembro de 2023

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**Hidrogênio verde: Uma análise de suas possibilidades e possível competitividade
brasileira dentro de um panorama global.**

Rafael Cialdini Bastos Pinto

Número de matrícula: 2010850

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

“Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo,
a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.”

Novembro de 2023

“As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.”

Agradecimentos:

Gostaria de dedicar esta monografia primeiramente aos meus pais, que me proporcionaram sempre uma educação de qualidade, prezando pelo meu conhecimento e desenvolvimento profissional, além de me darem todo suporte e amor possíveis durante toda a minha vida em cada ensinamento deles.

Queria agradecer também à minha namorada, que esteve sempre ao meu lado me incentivando e me dando todo apoio emocional e carinhoso, sendo uma pessoa super esforçada e que me inspira a cada dia com seu jeito de ser e que me faz ser com certeza uma pessoa melhor.

Também gostaria de agradecer ao meu orientador, Sérgio Besserman Vianna, pela ajuda ao longo desse ano, me fornecendo todo material que eu poderia precisar, além de me influenciar a fazer este tema através de seu seminário de economia sustentável, que abriu minha mente para vários pensamentos novos.

Aos meus amigos, obrigado pelos bons momentos, pelas risadas, que tornam nossa rotina cada vez mais divertida e dinâmica, aprendo com vocês sempre, e que a companhia de vocês esteja sempre comigo.

Por fim, sou muito grato à Instituição PUC-Rio, pela oportunidade de realizar um trabalho de fim de curso tão enriquecedor e que sem dúvida nenhuma, vai me acompanhar pelo resto da vida, representando toda minha trajetória na faculdade, muito obrigado e espero que possa me especializar cada vez no local que me deixou pronto para o mercado de trabalho e pela vida!

Sumário:

Capítulo 1	7
1.Introdução Geral.....	7
2. Motivação e Resultados Pretendidos.....	9
3. Metodologia e Fonte de Dados.....	10
Capítulo 2	11
1.O que é o hidrogênio?.....	11
2.Características Básicas:.....	11
3.Tipos de hidrogênio.....	12
3.1Hidrogênio Verde:.....	14
4.Conclusão:.....	15
5.Hidrogênio verde Primeira Visão:.....	16
5.1Principais Pontos Positivos:.....	16
5.2Principais Pontos Negativos:.....	17
5.3Como pode ser transportado:.....	17
5.4Previsão do mercado até 2030:.....	18
5.5Conclusão:.....	19
Capítulo 3	20
1.Portifólio energético atual global; uma visão geral do cenário atual:.....	20
2.Crise Energética Global (Cenário):.....	21
3.Crise energética como impulso para uma transição renovável:.....	23
4.Políticas emergenciais acelerando uma possível transição verde:.....	24
Capítulo 4	27
1.Panorma energético Brasileiro Atual:.....	27
2.Consumo de energia no Brasil nos dias de hoje:.....	27
2.1Matriz energética:.....	27
2.2Matriz Elétrica:.....	29
2.3Conclusões acerca do Consumo energético atualmente:.....	30
Capítulo 5	31
1.Hidrogênio verde como força motriz para a transição e energética:.....	31
2.Situação no presente momento e perspectivas para o futuro:.....	31
3.Funcionalidades do H2 Verde:.....	32
4. Potencial Brasileiro para a produção do H2 Verde:.....	33
5. Projeto em andamento no Complexo do Pecém:.....	34
5.1Principais Objetivos:.....	34
5.2Acordo Recente:.....	36
Capítulo 6	36
1.Conclusões Finais:.....	36
2.Referências bibliográficas:.....	37

Lista de Imagens:

Imagem 1: Esquema de produção do H2 Verde (pág 15)

Imagem 2: Previsão do mercado de H2 verde até 2030 (pág 19)

Imagem 3: Portifólio Energético Global em 2019 (pág 20)

Imagem 4: Demanda de Combustíveis Fósseis de 199-2050 (pág 22)

Imagem 5: Emissões de Gás Carbônico no Setor Energético 1990-2050 (pág 24)

Imagem 6: Investimento em Energia Limpa 2015-2030 (pág 26)

Imagem 7: Matriz Energética Brasileira em 2022 (pág 28)

Imagem 8: Consumo de Energético Renovável (pág 29)

Imagem 9: Matriz Energética Brasileira em 2022 (pág 29)

Imagem 10: Consumo Elétrico Renovável (pág 30)

Imagem 11: Como funciona Célula de Combustível de H2 (pág 32)

Imagem 12: Esquema do Complexo de Pecém (pág 35)

Resumo:

Durante o decorrer desta monografia, meu principal objetivo é apresentar o hidrogênio como fonte de energia, explicando detalhes sobre ele, desde seus diversos tipos, inclusive o verde que é especificamente nosso objeto de estudo, desde como é produzido e previsões de seu mercado nos próximos anos e qual impacto ele terá no processo de transição energética.

Para isso, irei em um primeiro momento contextualizar como se encontram os panoramas energéticos tanto do mundo como do Brasil, explicitando as principais diferenças entre eles atualmente, e como se situam na questão da produção e uso de energias renováveis. Exemplificarei com gráficos como o Brasil já utiliza muito mais energias verdes em diversos setores da sociedade e como suas características tornam o país ideal para ser pioneiro na produção do H2 Verde.

Entendendo melhor como estamos nos dias de hoje, e problemas que estamos enfrentando, mostrarei como o hidrogênio verde, que é produzido através de fontes renováveis, será muito importante para acabarmos com nossa dependência dos combustíveis fósseis e para alcançarmos de forma eficiente às metas de redução ao longo dos próximos anos.

Portanto, ao final, entenderemos que a curto prazo sim, existem diversos empecilhos para a produção dessa fonte energética hoje, como o custo por exemplo, mas que a médio e longo prazo, esse preço será muito menor que o valor causado por ele, reduzindo os impactos ambientais negativos que acontecem cada vez mais e prejudicam as próximas gerações.

Capítulo 1:

Introdução Geral

Durante a vigésima sétima Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas, ocorrida em novembro de 2022, muito foi discutido a respeito das possíveis soluções para deter a degradação ambiental do planeta Terra e as emissões dos gases de efeito Estufa. Há quase três décadas, durante a COP 1, que aconteceu em 1995, o tema e objetivo principal da reunião segue sendo a redução da emissão na atmosfera dos GEE, com regras e acordos sendo feitos para que isso se concretizasse.

Entretanto, de lá pra cá, mesmo com metas com o intuito limitar o aumento médio da temperatura global a 1,5°C, o que significa reduzir as emissões desses gases em aproximadamente 45% até 2030 e em 100% até 2050, o que o cenário mostra é oposto, a cada ano que passa batemos o recorde quando nos referimos a essas emissões. Tais dados que antes pareciam um problema a ser resolvido mais futuramente, atualmente fica claro que são números que devem ser revertidos o quanto antes, visto que já estamos muito atrasados e consequências desastrosas são iminentes.

Além das eventuais discussões realizadas ano a ano, a Guerra entre a Rússia e a Ucrânia, acenderam um alerta a mais no continente Europeu, acerca da necessidade de novas fontes de energias. Isso porque, a Rússia detém 25% de todos o gás natural encontrado no mundo e exportava aproximadamente 155 bilhões de metros cúbicos do combustível fóssil em 2021, o que equivale a 40% do consumo total de gás da UE.

Assim, com o início dos conflitos, e as sanções realizadas pelo mundo ocidental ao país russo, fizeram com que o mesmo decidiu cortar as exportações realizadas à Europa, o que fez com o continente todo passasse por necessidades, e ficando cada vez mais evidente que devem diversificar esse portfólio energético, não dependendo tanto do gás natural, como hoje acontece por lá.

Com tudo isso dito, com o objetivo de descobrir e utilizar novas fontes de energia, de preferência limpas e renováveis, seguindo a tendência mundial que está buscando descarbonizar as atividades econômicas, o hidrogênio verde vem ganhando cada vez mais força. Chamado de combustível do futuro por artigos da Petrobrás e até pela revista Forbes, essa nova fonte de energia, promete revolucionar o mundo no quesito fornecimento de energia, além de contribuir muito para o viés sustentável que o mundo e os principais países e líderes políticos estão buscando nesse momento.

Diante desses fatores, o Brasil se torna forte concorrente a ser uma das grandes potências deste novo mercado que pode estar surgindo, podendo até ser líder de produção. Isso porque, de acordo com a Folha de São Paulo, o Brasil é o terceiro país que mais produz energias renováveis no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China. Reunindo boas condições, alimentadas e motivadas por um vasto interesse ao redor do globo, o país tem possibilidades de sair na frente nesta corrida que acabará beneficiando a todos, diante do panorama vigente.

2. Motivação e Resultados Pretendidos

Não é nenhuma novidade que o Brasil hoje vive uma crise energética, que podemos botar como ponto de partida o apagão que ocorreu em junho de 2001, o qual foi responsável por estagnar a economia brasileira que vinha se destacando, com um crescimento de 4,4% em 2000, passando para 1,3% no ano seguinte, decorrente do racionamento de energia que teve de ser feito na época.

O acontecimento em questão, aconteceu principalmente pela escassez de chuvas e de políticas públicas, o que ocasionou na redução de 35% da iluminação pública, racionamento de 20% para residências e comércios e cortes de 15% a 25% no consumo das indústrias, dentre vários outros desdobramentos negativos que surgiram nesse período, o que fizeram com que nós repensássemos nossa dependência dos recursos hídricos.

Praticamente 20 anos depois, em 2021, o Brasil se encontra em uma situação parecida, que se estende desde aquele ano, devido a um fenômeno chamado La Niña, que afeta a distribuição das chuvas, além da revogação do horário de verão em 2019 que foi crucial para aumentar a demanda do consumo de energia em horário de pico, intensificando ainda mais essa crise que se agrava a cada ano que passa.

Com esta monografia, procuro analisar como será a transição energética global nos próximos anos, tendo como objeto central do meu estudo as diversas possibilidades do hidrogênio verde, tanto no quesito econômico, como na sua importância na questão ambiental, destacando como é a situação atual mundial, e como o Brasil pode se tornar protagonista nesse cenário que vivemos pós pandemia da Covid-19.

Tenho como intuito final, ver os impactos da introdução dessa nova energia renovável em primeiro lugar numa possível transição energética brasileira, diversificando seu número de fontes e abrindo espaço para uma maior parcela de energias verdes dentro de nosso portfólio. Após isso, procurarei ver como esse forte pontapé inicial brasileiro na utilização do hidrogênio verde, influenciará os outros países em busca de seu uso, ou importando de quem produz, ou produzindo por si próprios.

3. Metodologia e Fonte de Dados

Partirei primeiramente de uma visão geral de quais são as principais fontes de energia hoje, ressaltando seus prós, contras e principais produtores ou detentores de cada uma. Em seguida, farei uma visão mais aprofundada desses aspectos dentro do território brasileiro, para sabermos melhor como nos encontramos nesse aspecto atualmente.

Através de “Papers” e artigos sobre o hidrogênio verde, vamos listar os benefícios e desafios da introdução dessa nova fonte energética tanto no Brasil como no resto do mundo, ressaltando como o ele pode revolucionar a mudança energética em direção a um futuro de descarbonização, contribuindo para o cumprimento das metas já estabelecidas, tendo o Brasil como um dos principais players a participarem.

Para auxiliar na visualização desta evolução, contarei com tabelas e gráficos adicionais para que fique mais prático o entendimento e a mudança dos indicadores ao longo dos anos e seus respectivos valores com o passar deles, verificando numericamente o impacto e efeitos dessa mudança e como ela transformará o painel tanto econômico como de outros setores que vemos no ano de 2023.

Capítulo 2

1. O que é o hidrogênio?

2. Características Básicas:

O hidrogênio é o elemento mais abundante no Universo, o mais leve e o mais simples da tabela periódica. Na natureza dificilmente é encontrado puro, normalmente existe combinado a outro elemento como por exemplo com o oxigênio na água e o carbono no metano por exemplo. Outro ponto que vale destacar é que o H₂ apresenta pontos de fusão e ebulição muito baixos sendo -259,2 °C e -252,9 °C respectivamente, por isso que se encontra em estado gasoso quando em temperatura ambiente, sendo incolor, inodoro e insípido, por isso que não percebemos ele no meio ambiente em ocasiões usuais.

O elemento é raro na atmosfera da Terra, devido a sua leve densidade, escapando da gravidade terrestre, porém, é abundante na superfície do planeta na forma de hidrocarbonetos, como os componentes do petróleo e da água. Devido às suas características, principalmente a capacidade de armazenar energia, é uma substância ideal para ser utilizada como combustível, já sendo utilizado como gás de balões e dirigíveis antes de ser substituído pelo hélio.

3.0 Tipos de hidrogênio:

A denominação do hidrogênio através de diferentes cores se dá pela maneira na qual o hidrogênio é produzido, existindo algumas variações que dependem exclusivamente da fonte que é utilizada para sua produção. O foco do estudo é o hidrogênio verde, mas é importante citar alguns outros tipos que o mundo já pode começar a investir para substituir as fontes de energia não limpas atualmente e que não vão de encontro ao processo de descarbonização global. Algumas dessas fontes, mesmo sendo não renováveis não causam tanto impacto no quesito ambiental como as usadas hoje em dia como o petróleo amplamente utilizado.

Hidrogênio Branco:

É um elemento presente no meio ambiente, como nas águas, plantas e animais, sendo encontrado também na forma de gás em depósitos subterrâneos. Considerado um hidrogênio raro e difícil de se extrair por não haverem técnicas suficientes para isso e por não ser perceptível pelos olhos humanos, o que dificulta ainda mais o seu reconhecimento na natureza.

Hidrogênio Preto:

Formado a partir do carvão mineral, sendo um dos modos mais fáceis e baratos de sua obtenção, entretanto, um dos piores quando tratamos do quesito meio ambiente e sua preservação. Isso porque, além de advir de uma fonte não renovável, não sendo tão favorável para projetos de longo prazo, é uma fonte finita “suja, geradora de resíduos poluentes que contaminam o ar e por isso não deve ser utilizada em um futuro mais próximo.

Hidrogênio Castanho:

Um tipo de hidrogênio bem pouco convencional, é produzido através da lignite, uma rocha sedimentar castanha que, juntamente com o carvão mineral que produz o hidrogênio preto, é uma fonte poluente e, ademais, mais difícil e rara de ser extraída em relação à anterior, não sendo viável também pelos custos que serão conseqüentemente maiores de produção.

Hidrogênio Cinza:

Considero o hidrogênio com a técnica mais usada para sua produção, chamada de “reformação por vapor”, e representa cerca de 90% da produção mundial, o que é uma parcela extremamente significativa e majoritária, tendo sua origem advinda principalmente do gás natural ou outros combustíveis fósseis presentes no planeta e que são amplamente utilizados.

Ao aquecerem os combustíveis mencionados para separarem o H₂ acabam por liberarem CO₂ para a atmosfera, sendo então altamente poluente, o que explica a cor cinza, e responsável pela emissão de cerca de 830 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano ao redor do mundo de acordo com a IEA, a Agência Internacional de Energia.

Hidrogênio Azul:

Possui o mesmo método de formação através do vapor, porém, é menos poluente que o anterior de cor cinza, devido ao fato do dióxido de carbono liberado, ser capturado e grande parte, armazenado e enterrado no solo, não sendo assim emitido para a atmosfera.

Entretanto, o método mesmo mais benéfico que o anterior, ainda não é 100% eficaz, visto que ainda não se sabe ao certo como utilizar o CO₂ capturado e o mesmo não consegue ser totalmente armazenado, tendo ainda uma pequena parte sendo

liberada para a atmosferas, não se mostrando como ideal para atingirmos as metas de redução determinadas nos próximos anos.

Hidrogênio Azul Turquesa:

Ainda se encontra em fase experimental e consiste simplificada em transformar o CO₂ em um elemento sólido, ou seja, deste processo chamado de “pirólise de metano”, cuja matéria-prima é o gás natural ou biogás, terá como resultado um carbono sólido ou vez da sua emissão no estado gasoso. Tendo em um futuro próximo uma utilidade existente, com aplicações comerciais em diversos setores econômicos da indústria.

Hidrogênio Rosa:

Considerado um tipo de produção de hidrogênio mais específico e menos convencional, seria o hidrogênio produzido através das energias nucleares, onde o processo de eletrólise recorre a essa fonte de energia. Mesmo não sendo poluente no quesito de emissão dos gases de efeito estufa, é uma produção arriscada ao meio ambiente pela radioatividade que pode escapar.

Hidrogênio Amarelo:

Uma das opções viáveis para a utilização de energias renováveis para a produção de hidrogênio, já sendo uma opção muito interessante para a utilização de energia limpa, andando em paralelo com o hidrogênio verde como as alternativas mais viáveis para esse cenário desastroso que temos que contornar ao longo da próxima década que está por vir.

3.1 Hidrogênio Verde:

É o foco e objetivo principal de nosso estudo quando falamos de transição energética, descarbonização e sustentabilidade ambiental. Ele é produzido através do processo denominado eletrólise, onde as moléculas de hidrogênio são separadas das

de oxigênio, sem quaisquer emissões poluentes diretas durante o processo, isso porque a energia elétrica usada vem de fontes renováveis e limpas, que contribuem para a transição verde energética que buscamos.

Segue abaixo uma imagem que ilustra um esquema básico de como é realizada a produção do hidrogênio verde:



4. Conclusão:

Como percebemos, há diversos modos de se produzir o hidrogênio, entretanto, alguns métodos não são válidos quando queremos reverter os problemas ambientais vigentes e pensar a longo prazo no futuro do planeta, isso pois a grande maioria vem de fontes não renováveis e muito menos limpas e promissoras, apenas o verde é promissor para o futuro, sendo a grande aposta rumo às metas globais de eficiência energética e neutralidade carbônica.

5. Hidrogênio verde | Primeira Visão:

Neste tópico buscarei dar uma primeira visão geral a respeito do hidrogênio verde, destacando alguns pontos importantes a serem destacados que serão relevantes quando formos falar sobre o papel fundamental dessa fonte de energia na transição demográfica global e como o Brasil tem a capacidade de ser o pioneiro nessa produção já considerada como inevitável para tentarmos reverter as consequências catastróficas da do aumento da temperatura do planeta Terra.

5.1 Principais Pontos Positivos:

- **100 % sustentável:** o hidrogênio verde não emite gases poluentes nem durante a combustão nem durante o processo de produção.
- **Armazenável:** o hidrogênio é fácil de armazenar, o que permite sua utilização posterior em outros usos e em momentos diferentes ao de sua produção.
- **Versátil:** o hidrogênio verde pode ser transformado em eletricidade ou combustíveis sintéticos e ser utilizado com finalidades comerciais, industriais ou de mobilidade.
- **Pontos que garantem segurança:** o hidrogênio verde não é tóxico, incapaz de entrar em combustão sem um oxidante

- Como o oxigênio, capaz de se dissipar rapidamente, pois é muito mais leve que o ar e menos propenso a se espalhar e criar incêndios secundários pois as chamas do hidrogênio têm um calor radiante inferior ao de outras fontes de combustível típicas.

5.2 Principais Pontos Negativos:

- **Custo mais elevado:** a energia procedente de fontes renováveis, fundamentais para gerar hidrogênio verde através da eletrólise, é mais cara de gerar, o que, por sua vez, torna mais cara a obtenção do hidrogênio.
- **Maior gasto de energia:** a produção do hidrogênio em geral e do verde em particular requer mais energia que outros combustíveis.
- **Possível risco à segurança:** o hidrogênio é um elemento muito volátil e inflamável, exigindo requisitos de segurança elevados para evitar fugas e explosões.

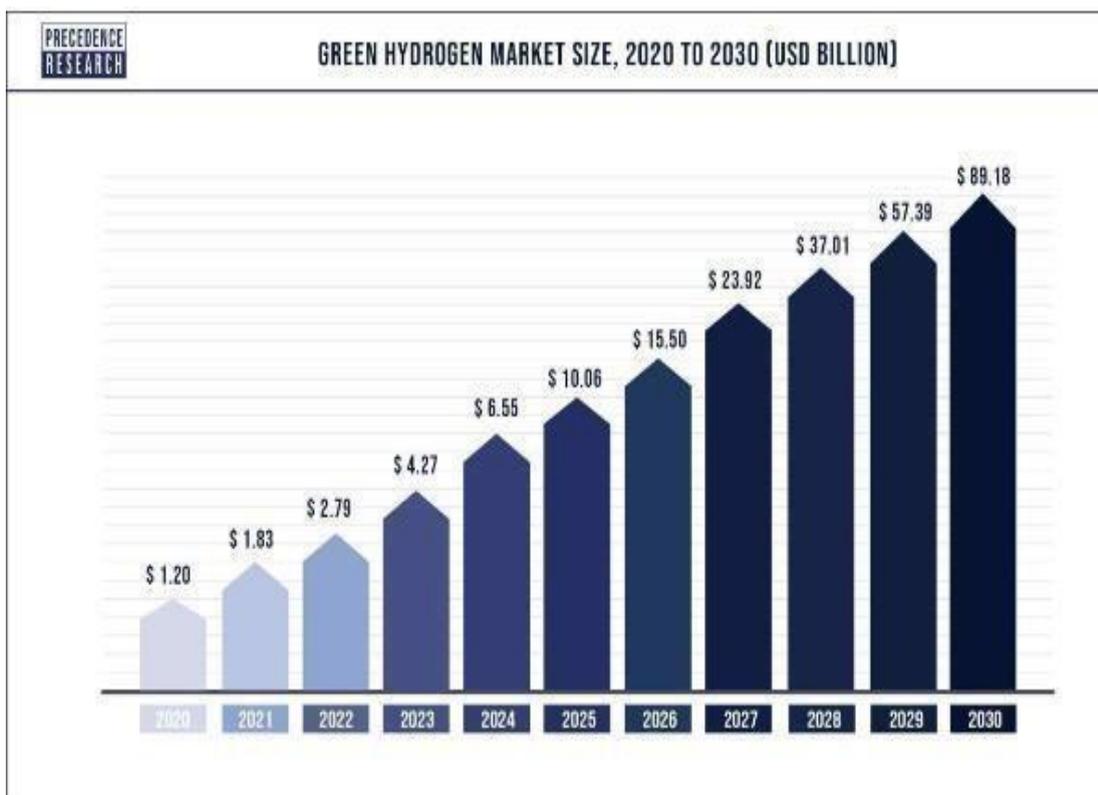
5.3 Como pode ser transportado:

- Como um **gás comprimido** e enviado por gasodutos, caminhões ou transporte ferroviário.
- **Liquefeito** a uma temperatura muito baixa e enviado como hidrogênio verde líquido em navios-tanque, caminhões ou trilhos.
- Convertido em **amônia, hidrocarbonetos sintéticos** ou **transportadores de hidrogênio orgânico líquido** (LOHCs) e enviado por navio-tanque químico.

5.4 Previsão do mercado até 2030:

No ano de 2021, o mercado de hidrogênio global foi avaliado em US \$1,83 bilhão e espera-se que atinja mais de US \$ 89,18 bilhões até 2030, pronto para crescer a uma taxa de crescimento anual composta de 54% de 2021 a 2030. O mercado consumidor vigente mais promissor será o continente europeu, que já mira nesse movimento às práticas verdes há alguns anos.

Segue abaixo em anexo um gráfico demonstrando a expectativa do tamanho de mercado de hidrogênio verde em uma previsão de 2021 até 2030, medido em bilhões de dólares:



5.5 Conclusão:

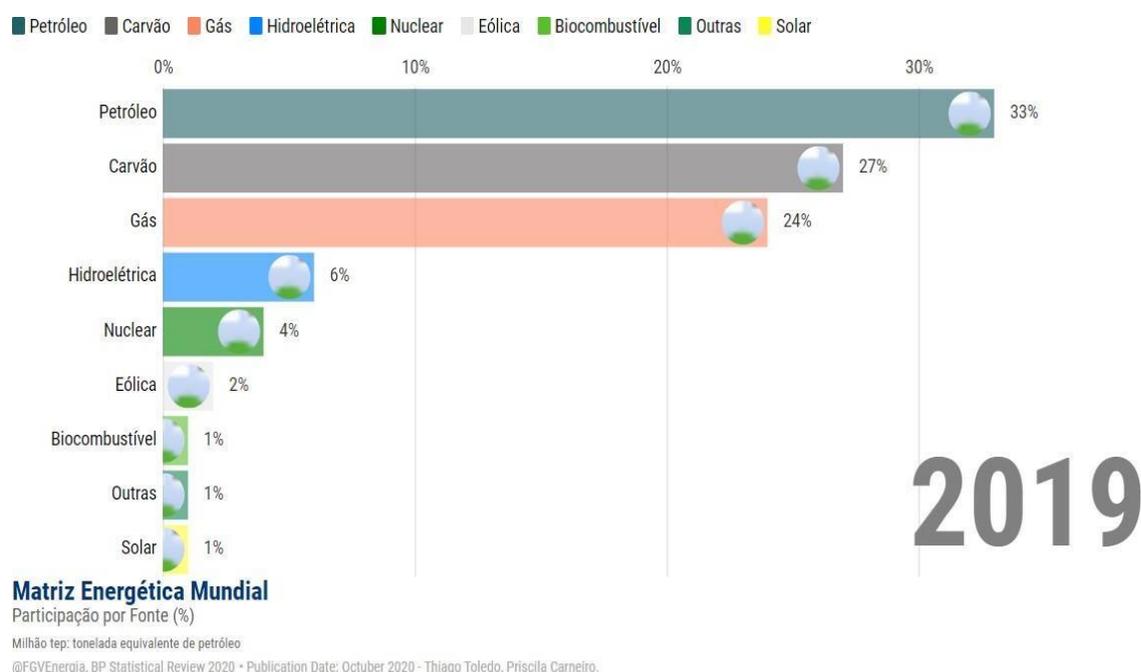
Neste tópico procurei mostrar um primeiro overview do hidrogênio verde, apresentando porque ele tem um potencial para ser de fato o combustível do futuro, mostrando brevemente alguns pontos sobre ele. A partir do que foi apresentado, nos aprofundaremos melhor nessas características mais pra frente, relacionando-as com a transição energética global em busca da descarbonização, tendo essa fonte de energia como protagonista.

Capítulo 3:

1. Portifólio energético atual global; uma visão geral do cenário atual:

O Brasil, desde de a década de 70, vem procurando investir em energias renováveis, resultando e uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Entretanto, de lá pra cá o panorama global se encontra praticamente na mesma, com 84% da energia mundial sendo gerada por combustíveis fósseis, quase o dobro da proporção brasileira, que tinha em 2019 aproximadamente 57% de seu mix energético sendo de fontes não renováveis, ou seja, paraticamente metade da quantidade total.

Analisando mais a fundo a situação do mundo, vemos que os energéticos de origem fóssil, como petróleo, carvão e gás natural são predominantes e, infelizmente, grandes produtores dos gases de efeito estufa. Para se ter uma melhor do noção visualmente, segue abaixo um gráfico explicitando as porcentagens, divididas por cada fonte de energia, a matriz energética global há quatro anos:



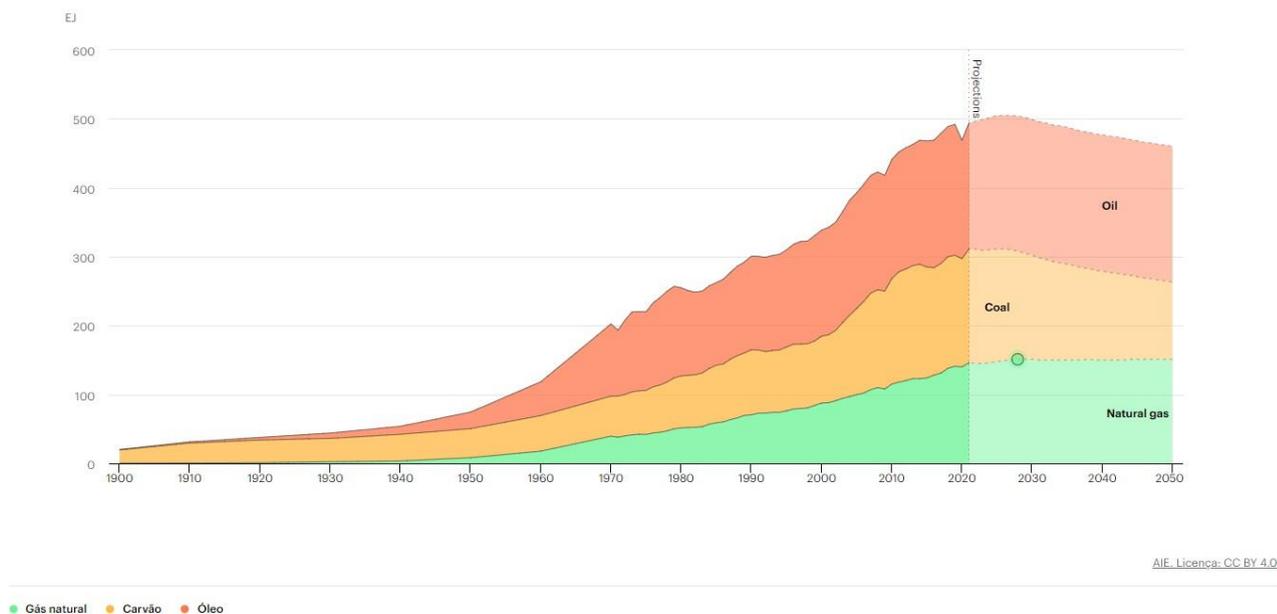
2. Crise Energética Global (Cenário):

O mundo se encontra hoje em uma grande crise energética que teve como grande causa a invasão da Ucrânia pela Rússia. Em um momento onde o mundo ainda seguia se recuperando da pandemia da Covid-19, o início desse conflito acabou por afetar ainda mais a crise energético que vinha se formando ao longo dos últimos. Isso porque, a Rússia que é uma grande exportadora de combustíveis fósseis para outros países, principalmente a Europa, sofreu sanções europeias às importações de petróleo e carvão vindas de lá, o que prejudicou ainda mais o cenário que já não era favorável no quesito de fornecimento energético.

Entretanto, o que de longe mais está afetando o fornecimento de energia ao continente europeu foi o corte da exportação de gás natural realizado pela Rússia, que é a principal fonte de energia atualmente desses países. Assim, com essa queda brusca na oferta e a demanda aumentando cada vez mais, os preços das compras spot de gás natural atingiram níveis nunca antes vistos, ultrapassando regularmente o equivalente a 250 dólares por barril de petróleo, além do preço do carvão que também subiu, e do petróleo que subiu bem acima dos 100 dólares por barril em meados de 2022, mas que depois começou a cair um pouco.

Os elevados preços são responsáveis por 90% da pressão ascendente sobre os custos da electricidade em todo o mundo, fazendo com que a Europa vá importar mais 50 mil milhões de metros cúbicos (bcm) de gás natural liquefeito (GNL) em 2022, em comparação com o ano anterior, o que por sua vez alimentou pressões inflacionistas e criou um risco iminente de recessão, e acabou por gerar um lucro a mais de 2 bilhões de dólares para os produtores de combustíveis fósseis acima de seu rendimento líquido que tiveram no ano de 2021.

Podemos ver a seguir, no gráfico abaixo, que a demanda por gás natural, carvão e óleo teve um aumento exponencial do último século, mas que há uma projeção que esses valores se estabilizem ou até diminuam nos próximos anos:



Com os preços mais elevados das fontes de energia, muitas economias em crescimento estão sendo afetadas, principalmente as famílias mais humildes que possuem dinheiro praticamente apenas para se sustentarem, o que está gerando uma insegurança alimentar, já que a parte da renda destinada à energia e produtos alimentícios terá que ser cada vez maior. Aproximadamente 75 milhões de pessoas que conseguiram acesso recente a eletricidade, não conseguirão mais pagá-la, fazendo com que o número de pessoas sem acesso a ela em todo o mundo comece a aumentar pela primeira vez em anos, além de quase 100 milhões de pessoas que devem voltar a utilizar meios mais rústicos e não práticos para suprir essa necessidade, como a lenha.

A partir desse panorama bem negativo, os governos dos países mais desenvolvidos estão gastando cerca de 500 milhões de dólares a fim de protegerem seus consumidores desses primeiros choques econômicos adversos. Grande parte desse capital foi destinado a garantir um armazenamento prévio de gás natural e a busca por garantir a distribuição de combustíveis alternativos, gerando energia através a partir do petróleo e do carvão, o prolongamento da vida útil de algumas centrais nucleares dentre outros pontos a fim de minimizar esses impactos.

3. Crise energética como impulso para uma transição renovável:

Como foi citado no tópico anterior, os governos respectivos de cada país, majoritariamente os europeus, estão destinando verba para reduzir os impactos negativos da crise, dentre as ações tomadas, uma delas é a aceleração do fluxo de novos projetos de energias renováveis. Tais medidas foram incentivadas a partir desse cenário desfavorável, mostrando que o sistema energético atual se encontra frágil e insustentável pro futuro.

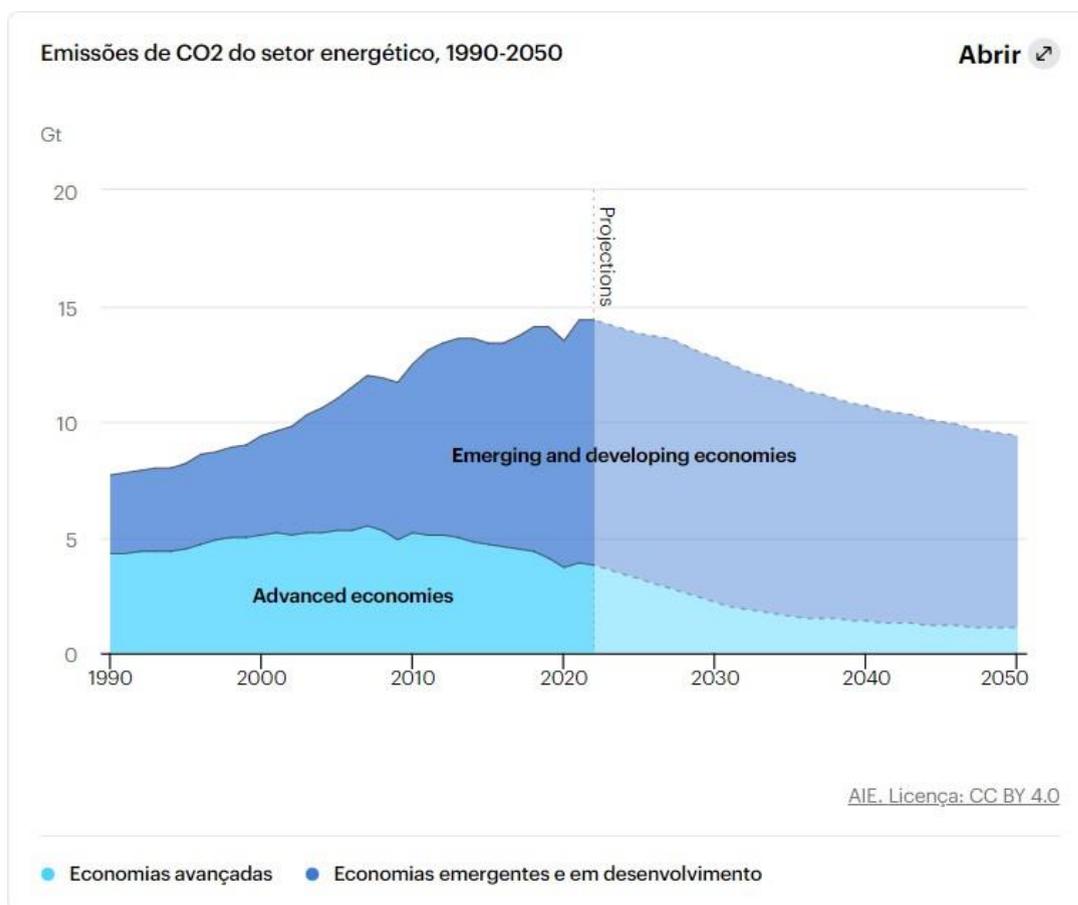
Assim sendo, nas regiões mais afetadas, a crise de fato catalizou e incentivará ações mais imediatas, visto que locais com maiores porcentagens de energias renováveis em seu portfólio, resultaram em preços mais baixos na eletricidade, mesmo que a curto- prazo os gastos com essa transição se elevem, a médio-longo prazo os benefícios são bem mais atrativos.

Com o aumento desses problemas relacionadas a matriz energética vindo à tona novamente, os governos são pressionados ainda mais para reagirem rapidamente, mas também a pensarem em projetos no futuro, aumentando e diversificando o fornecimento de óleo e gás natural, mas também realizando uma profunda mudança na estrutura do portfólio energético de seus países.

Tais transformações, implicam na acriação e alteração das políticas públicas, para que as metas aspiradas e prometidas pelo governo sejam alcançadas de maneira integral e até antecipada, a fim de garantir energia limpa para os próximos anos. Isso entra em concordância com a redução das emissões até o ano de 2050, para estabilizar o aumento da temperatura global por volta de 1,5 graus Celcius, mas para isso, o objetivo primário é garantir o acesso à energia moderna até 2030. O que se espera é que todas as potências e países principais sigam essa cartilha de forma universal, para que não seja algo concentrado em certas localidades.

A seguir segue um gráfico ilustrando qual a meta de emissões de CO₂ até 2050 e o que de fato foi emitido até 2020, guiado por economias avançadas e emergentes. A

ideia é que já estejamos em decréscimo o quanto antes, e que os momentos que estamos vivendo sejam o pico de emissões, mas que logo irá entrar em uma tendência de queda pelas próximas 3 décadas:



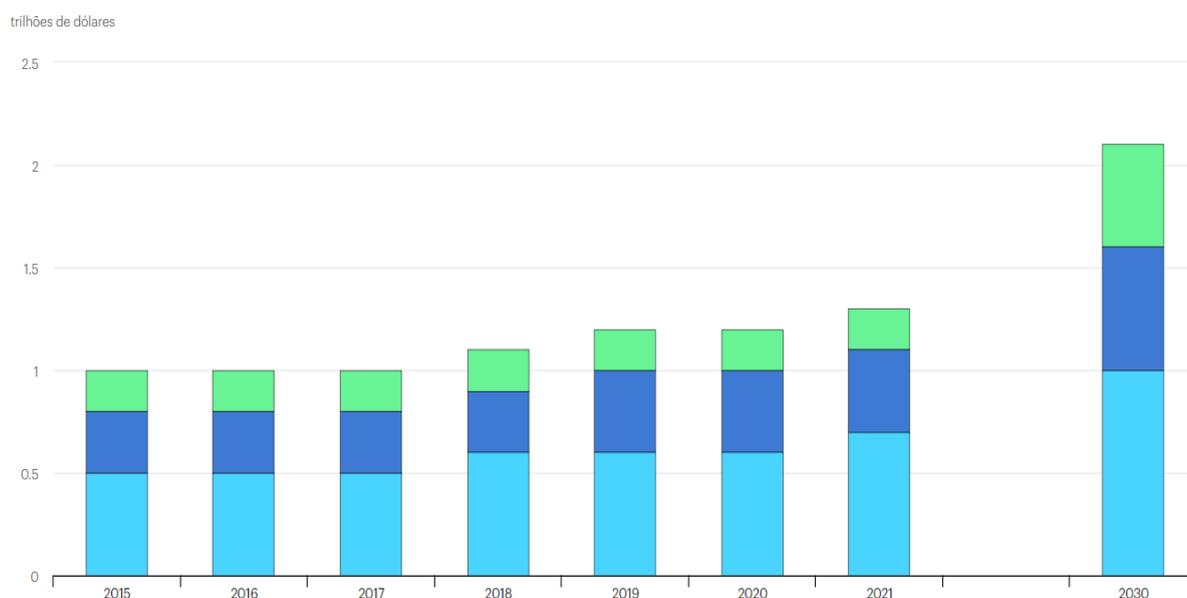
4. Políticas emergenciais acelerando uma possível transição verde:

Os principais mercados internacionais preveem investimentos de cerca de 2 bilhões de dólares até 2030 em energias renováveis, cerca de 50% mais do que é investido hoje. A energia limpa abre margem para o crescimento, gerando uma concorrência entre os países que trará bons frutos, podendo citar a Lei de Redução da Inflação dos EUA, o que acrescentará anualmente a capacidade solar e eólica americana, o dobro do que acontece hoje em dia, com a venda de carros elétricos, que já é forte lá atualmente, se tornando sete vezes maior até 2030.

Quando tratamos do maior produtor mundial, a China, Novas metas continuam a estimular o desenvolvimento massivo de energia limpa lá, resultando numa queda drástica do consumo de carvão e petróleo que começará ainda nesta década. No Japão, existe já o programa de transformação verde, que financia tecnologias que se relacionam a produção de energias renováveis, dentre elas a nuclear, amoníaco e o hidrogénio de baixas emissões que é o mais importante e promissor de todos eles, principiamente os que resultam de fontes “verdes”. Coreia do Sul também segue o mesmo caminho, juntamente com a Índia que registra novos progressos no sentido da sua meta de capacidade renovável nacional de 500 gigawatts (GW) em 2030, e as energias renováveis já são suficientes para suprirem quase 70% da eletricidade do país, o que é muito acima da média.

Em relação ao continente europeu, o mais afetado diretamente nos últimos anos, a busca e implementação de energias renováveis mais eficientes, reduzirão a procura de gás natural e de petróleo na UE em 20% nesta década. A procura de carvão diminuirá em 50%, um impulso que se torna ainda mais urgente pela necessidade de encontrar novas fontes energéticas para que se tornem independentes do gás natural russo, dentre outras fontes minerais vindas de lá.

Abaixo segue um gráfico explicitando os investimentos em trilhões de dólares realizados pelos países em desenvolvimento, já desenvolvidos e pela China, que é um motor fortíssimo para o acontecimento dessa transição, visto que influencia muita os que comercializam com ela até 2030:



AIE, Licença: CC BY 4.0

● Economias avançadas ● China ● Economias emergentes e em desenvolvimento

À medida que essa mudança se torne mais geral e cada vez mais países adotem políticas de substituição da energia fóssil pela sustentável, mais barato ela se tornará e consequentemente mais vantajosa o seu desenvolvimento e utilização. No ano de 2021, o investimento em energias renováveis era de 1,3 milhões de dólares, em comparação aos 0,9 trilhões, no setor energético Net Zero. Daqui a 10 anos, há uma expectativa de que o investimento em energias fósseis caia pela metade e em energias verdes, ultrapasse a marca dos 4 trilhões de dólares investidos.

Contando com isso, diversas energias renováveis irão surgir para desempenharem variadas funções, mas uma que já está na pauta internacional há muito tempo é o hidrogênio, sendo que uma das principais utilizações para ele e que já deve ser implementada o quanto antes devido às suas múltiplas funções e possibilidades é o hidrogênio como forma de combustível, que é considerado por muitos como o combustível do futuro e nesse caso, o Brasil entra como principal candidato a ser pioneiro nesse tópico e em sua produção.

Capítulo 4:

1. Panorama energético Brasileiro Atual:

Depois de uma análise mais detalhada de como se encontra o cenário mundial, vamos agora ver mais especificamente o brasileiro, onde o Brasil já possui uma das matrizes mais limpas do mundo, mas pode se tornar varnagrada no movimento para que isso se torne o padrão em todos os países. Sendo exemplo global ao redor do mundo, possuímos, de acordo com a IEA (Internacional Energy Agency) hoje ainda uma dependência ainda consideravelmente significativa do petróleo, quase 40%, mas temos praticamente esse mesmo percentual, quase metade da total, espalhadas por algumas energias renováveis.

De acordo com o World Energy Outlook do ano de 2021, a hidrelétrica segue predominante e sendo referência como nossa energia verde, mas está acompanhada do gás natural, do biocombustível, da energia eólica e uma fração pequena da nuclear e solar, mas que somando todas elas, temos mais de 50% de energias limpas, sendo a maioria delas renováveis.

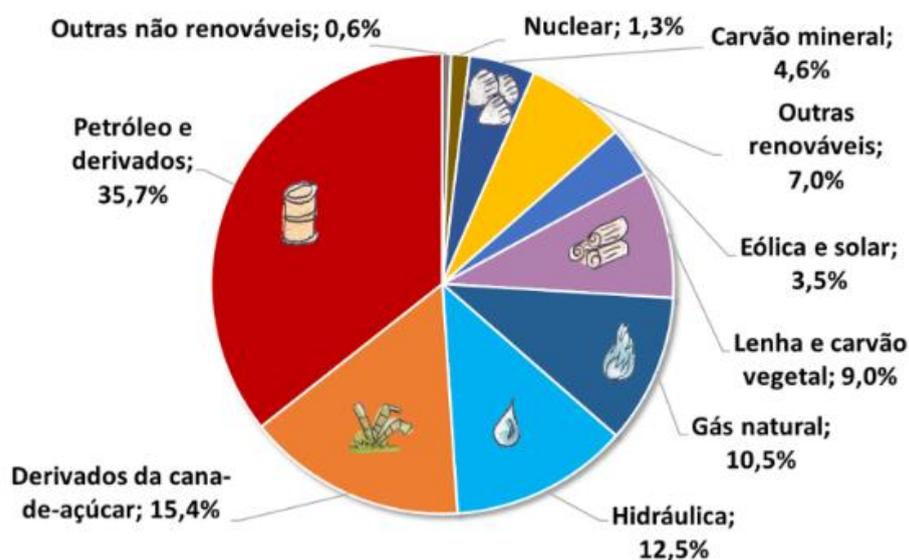
2. Consumo de energia no Brasil nos dias de hoje:

Primeiramente, é importante entender a diferença entre matriz energética e matriz elétrica, visto que são conceitos um pouco distintos entre si mas que é essencial entender a diferença.

2.1 Matriz energética:

Essa, rerepresenta às fontes de energia envolvida nas rotinas de cada indivíduo, incluindo todas as suas principais atividades, desde a energia usada para cozinhar, para

ligar o abajur do lado de sua cama ou até para recarregar sua bicicleta elétrica a fim de ir ao trabalho por exemplo.

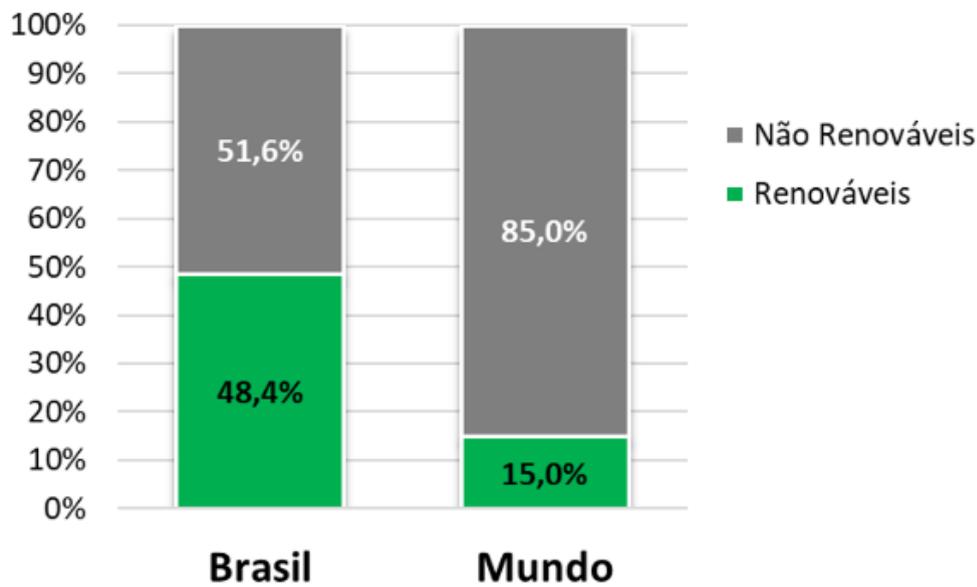


Matriz Energética Brasileira 2022

(BEN, 2023; total em 2022: 303 milhões de tep - tonelada-equivalente de petróleo)

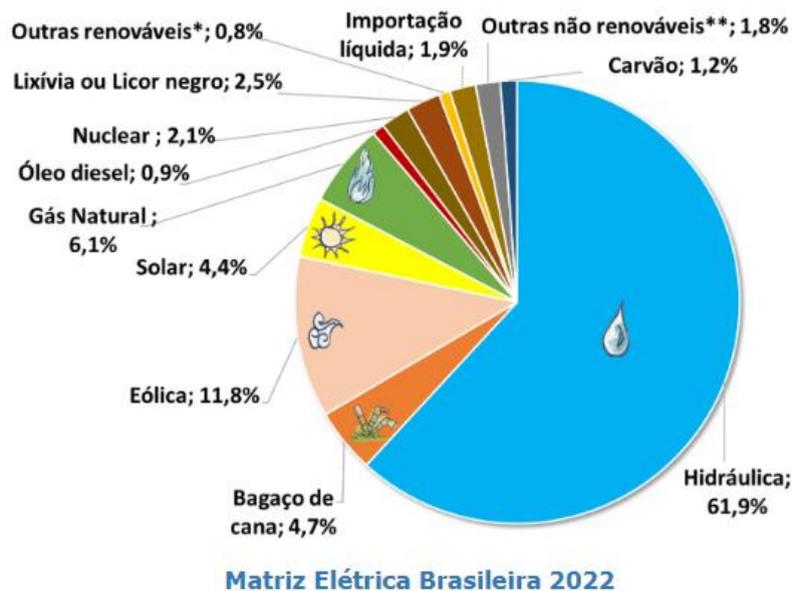
A partir do gráfico de pizza acima, vemos que o Brasil utiliza 47,4% de fontes de energias renováveis, o que representa praticamente metade de nossa matriz energética total.

Se analisarmos o consumo em si, comparando energias não renováveis com as citadas acima no ano de 2020, vemos que o Brasil já está alguns passos a frente nesse quesito, usufruindo na prática desse tipo de energia, enquanto o mundo ainda depende muito de energias fósseis quase que em sua totalidade.



2.2 Matriz Elétrica:

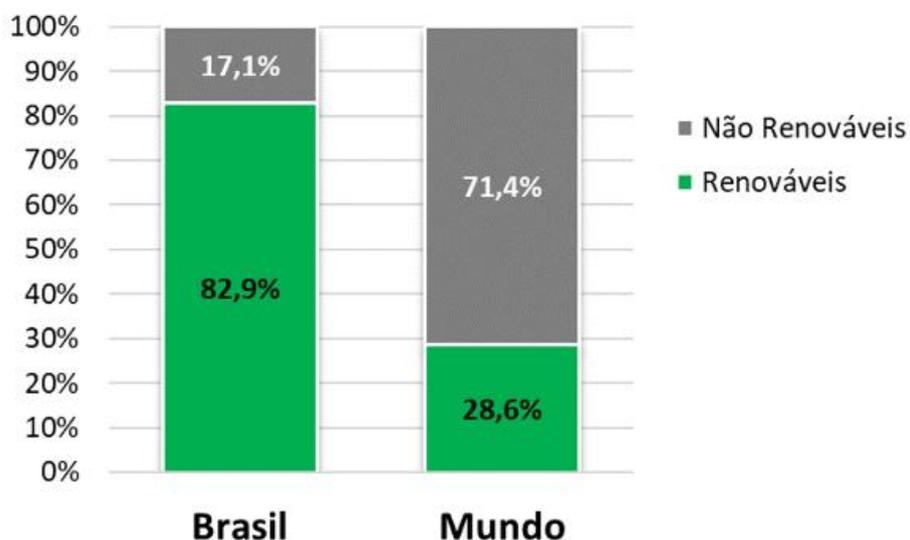
No caso da matriz elétrica, são fontes de energia ligadas à geração de eletricidade, ou seja, a transformação de energia primária em energia elétrica, fazendo parte da matriz energética como um todo, podemos citar a televisão, o rádio, ou até o microondas, que demandam esse tipo de energia.



(BEN, 2023; total em 2022: 677 TWh - terawatt-hora)

Nesse caso, quando comparamos o território brasileiro com o resto do planeta, temos dados ainda mais positivos, influenciado em grande parte pelas usinas hidrelétricas que são uma potência no país, somado à energia eólica que está cada vez mais ganhando espaço dentro de nossa matriz energética.

Vendo novamente agora a questão do consumo dessa energia, nos deparamos com resultados ainda mais favoráveis para o Brasil, visto que a disparidade com os outros países se torna ainda maior, com uma diferença superior a 50%.



2.3 Conclusões acerca do Consumo energético atualmente:

Pode-se inferir então que, o Brasil possui um enorme potencial energético renovável, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2022, a matriz energética brasileira é composta aproximadamente por 78% de fontes renováveis, em comparação uma média ao redor do mundo que chega quase aos 29%, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA).

Assim, mesmo tendo uma matriz energética já pronta para uma transição energética completa, somado a um consumo já em grande parte de fontes verdes, ainda existe um longo caminho a ser percorrido, já hoje esse tipo de energia é muito cara mas por outro lado muito promissora, sendo o hidrogênio verde como aquela que impulsionará as outras.

Capítulo 5:

1. Hidrogênio verde como força motriz para a transição energética:

“O hidrogênio é um dos meios principais na transição energética e representa um papel na desfossilização, por ser um forte substituto dos combustíveis derivados do petróleo e por possuir uma complementariedade com as fontes de energia intermitentes, e, sobretudo, como possibilidade à segurança energética”, afirma Everthon Sica, professor do Instituto Federal de Santa Catarina.

A partir da declaração acima do professor, fica evidente que o hidrogênio é de fato a energia renovável mais promissora, visto que é super versátil, podendo ser produzida a partir de diversas fontes de energia, e sua produção energética pode substituir diretamente os combustíveis fósseis mais usados hoje, como o petróleo, além de ser bem mais segura que outras já consolidadas como a nuclear.

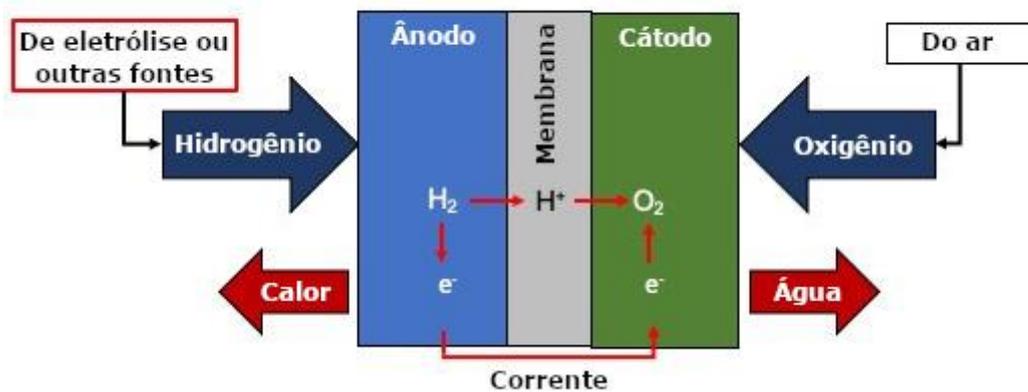
2. Situação no presente momento e perspectivas para o futuro:

Na indústria, a participação do hidrogênio verde ainda é minoritária, sendo o cinza mais predominante, mas de acordo com Everthon, no curto prazo, o verde se tornará dominante, e terão produtos que utilizam-se dele, considerados com um maior valor agregado porque são benéficos ao meio ambiente, pauta que está cada vez mais forte e nos principais tópicos de discussão de várias potências mundiais, o que mostra que é um movimento em massa que está se formando.

Entretanto, o panorama ainda se encontra mais embrionário nesse quesito, pois a utilização do hidrogênio vindas de fontes verdes ainda é caro e sua tecnologia segue sendo testada, mas daqui a alguns anos, há estudos que comprovam que serão bastante competitivos no quesito de custo e eficiência, podendo ser usado em diversas funções bem variadas.

3. Funcionalidades do H₂ Verde:

Usado como combustível de veículos, para geração, por meio de reações eletroquímicas em um dispositivo chamado célula de combustível, de energia elétrica que vai alimentar as baterias de veículos elétricos, que já vem sendo aos poucos sendo comercializados do mercado.



Fonte: eCycle

Utilização do hidrogênio verde na produção de fertilizantes agrícolas, através da produção de amônia, resultando em produtos vindo de plantações que serão muitas vezes mais seguros ao seres humanos, com a diminuição dos agrotóxicos mais artificiais, como também na redução da emissão de gases poluentes, que afetam as regiões em volta, prejudicando fauna e flora.

Pode também ser usado para armazenar energia excedente de fontes intermitentes, como solar e eólica, assim, complementando energias renováveis já mais consolidadas no mercado, impulsionando-o ainda mais. Logo servirá frequentemente como geradores de energia elétrica, alimentando veículos para transporte rodoviário, marítimo ou ferroviário, quanto em aplicações estacionárias, como residências ou edifícios comerciais por exemplo.

4. Potencial Brasileiro para a produção do H2 Verde:

Como já vimos, grande parte da energia elétrica do país é obtida através de fontes renováveis, 87% mais aproximadamente de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do governo federal. Somado a isso, o território brasileiro possui grandes reservas hídricas e potencial para a exploração de energias eólicas e solar, que vêm crescendo bem nos últimos anos.

O Brasil, de acordo com a professora Cláudia Lira do Instituto Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, que tem experiência na área de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais com foco na sustentabilidade e no reaproveitamento de resíduos, o Brasil, em suas palavras, “até demorou” para descobrir o potencial do hidrogênio verde, e, em sua opinião, a sua tecnologia deve ser produzida aqui mesmo, não como uma “commodity”, mas como um meio de agregar valor aos setores econômicos.

Ademais, por possuir uma das maiores produções agrícolas do mundo, já com uma indústria de biocombustíveis bem estabelecida como o etanol, possui biomassa residual de sobre para produzir esse hidrogênio verde através de gaseificação ou reforma a vapor tendo o bagaço da cana como matéria prima por exemplo.

Falando de benefícios econômicos, o Brasil tem margem de expansão para a criação de vários novos setores econômicos nas áreas de pesquisa, desenvolvimento, produção, infraestrutura e manutenção, para a produção de células de combustível, tecnologias de eletrólise avançada e sistemas de armazenamento, gerando vários empregos especializados nessa nova “matéria prima”.

Pode servir também para exportação, como possui energia renovável em abundância, o Brasil se vê em vantagem para vender esse tipo de energia à países que ainda não tem a tecnologia ou as condições de produzi-la, mas que dependem muito dos combustíveis fósseis que estão sendo ameaçados, como é o caso de grande parte da Europa, que se vê em ainda mais dificuldades pela sanção Russa do Gás Natural, muito utilizado lá e que também não é renovável.

5. Projeto em andamento no Complexo do Pecém:

O projeto mais avançado que temos no Brasil no ano de 2023 é um Hub localizado no Ceará, no porto de Pecém, isso porque a localidade abrange várias características favoráveis à produção do hidrogênio verde, dentre elas podemos citar:

- Proximidade aos mercados consumidores, devido a sua localização geográfica, com as principais rotas marítimas que ligam o Pecém à Europa e Estados Unidos, facilitando a logística.
- São Áreas Industriais em Zonas de Processamento de Exportação (ZPE), trazendo benefícios tributários com uma economia de 30% a 40% ao OPEX e CAPEX de um possível investidor.
- Possui parceria com o porto de Roterdã, principal Hub de hidrogênio na Europa, o que facilita a troca de conhecimentos e relações comerciais.
- Dentro do Hub há um parque industrial com empresas do mercado consumidor de hidrogênio verde como de aço e fertilizantes.

5.1 Principais Objetivos:

- Desenvolver um Roadmap, indentificando e analisando cenários de escalabilidade da produção de H2 verde.
- Implementarem um projeto-teste, que contempla uma usina solar de 3MW e um módulo eletrolisador de última geração, com capacidade de produção de 250 Nm³/h de H2 com garantia de origem renovável, servindo como “laboratório vivo” para testes e avanços dessa economia no resto do país.
- Gestão da Rede de Inovação do Setor Elétrico do Projeto (RISE) que tem a função

de gerenciar as atividades, direcionar pontos estratégicos e desenvolver parcerias com o tempo.

5.2 Acordo recente:



Fonte: Site do Governo do Ceará (CE)

A figura acima mostra um esquema com o complexo todo, para termos uma maior dimensão da estrutura que está se formando lá e relaizando cada vez mais acordos comerciais, sendo o mais recente com a Cactus Energia Verde, um pré-contrato assinado durante o Fiec Summit 2023 no dia 25 de outubro de 2023 com um investimento previsto de 2 bilhões de dólares.

Esse é o quarto contrato firmado para o Hub de H2 verde em Pecém no Ceará para a produção de hidrogênio e amônia verde no local, que vem se expandindo e sendo o centro que impulsionará esse mercado no país.

Capítulo 6:

- **Conclusões finais:**

Através do estudo mais aprofundado que foi feito, fica mais claro o potencial energético do hidrogênio verde e como ele pode contribuir no processo de transição energética pelo próximos anos.

Contudo, ainda existem muitas barreiras a serem ultrapassadas para que essa fonte de energia se consolide ao redor do planeta, isso porque ele ainda é muito caro, com tecnologias não tão especializadas e sem muitos projetos efetivamente que fizeram um grande sucesso na prática para que tenhamos uma ideia de como será sua inserção no mercado.

Assim sendo, a sociedade vai ter que se adaptar no curto prazo, ajustando processos, e realizando algumas adaptações para que ele comece a ser utilizado nas tarefas e atividades econômicas desde já.

Para que o processo de sua produção seja considerado totalmente verde, será um processo gradual, com o Brasil, como vimos, estando vários passos a frente, tanto porque já está acostumado a utilizar uma ampla quantidade de energias renováveis em larga escala, em comparação ao mundo, como também reúne diversas características para que seja produzido de maneira eficiente.

Por fim, concluímos que, embora hajam vários desafios para a consolidação do hidrogênio verde no mundo, ele é de fato crucial para a realização da transição energética, para que o mundo não dependa mais de energias não renováveis e que, ao mesmo tempo, prejudicam os seres humanos e o planeta Terra a cada dia.

.Então, o que se espera hoje, na teoria é que sim, o hidrogênio verde seja o combustível do futuro, sendo cada vez mais usado na prática e que as metas de redução sejam batidas nas próximas décadas, muito graças a ele, podendo revolucionar o mercado e impactar diretamente nossa visão acerca do assunto.

Referências Bibliográficas:

- Akhtar, Malik Sajawal, et al. **“Green Hydrogen and Sustainable Development – A SocialLCA Perspective Highlighting Social Hotspots and Geopolitical Implications of the Future Hydrogen Economy.”** *Journal of Cleaner Production*, vol. 395, 1 Apr. 2023. *ScienceDirect*, EBSCOhost, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136438>
- Borges Araújo, Maria Fernanda, et al. **“Hidrogênio: Combustível Do Futuro?”** *CadernoDe Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE*; v. 7 n. 1 (2021); 60-69, 1 Jan. 2021. *BASE*, EBSCOhost, <http://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/s6115690/access/index.php?url=http%3a%2f%2fsearch.ebscohost.com%2flogin.aspx%3fdirect%3dtrue%26db%3de%26site%3deds-live%26scope%3dsite>
- Fernandes, Gláucia, et al. **“Panorama Dos Desafios Do Hidrogênio Verde No Brasil.”***BASE*, EBSCOhost, 1 Jan. 2023, <http://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/s6115690/access/index.php?url=https%3a%2f%2fsearch.ebscohost.com%2flogin.aspx%3fdirect%3dtrue%26db%3de%26site%3deds-live%26scope%3dsite>
- Moritz, Michael, et al. **“Estimating Global Production and Supply Costs for Green Hydrogen and Hydrogen-Based Green Energy**

- Commodities.”** *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 25, 22 Mar. 2023, pp.9139–9154. *ScienceDirect*, EBSCOhost, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.046>
- Souto, Hugo José, and Teresa Alexandra Nogueira. “**O Hidrogênio Como Vetor Energético Do Futuro.**” *RCAAP*, EBSCOhost, 1 Jan. 2021, <https://doi.org/10.34630/neutroaterra.vi28.4494>
 - Zacharias, Luis Guilherme, and Drielli Peyerl. “**Hidrogênio Verde Da Biomassa Para Veículos Leves No Brasil: Uma Análise Por Meio Da Perspectiva Multinível.**” *BASE*, EBSCOhost, 1 Jan. 2022, <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16735015.v2>
 - DO HIDROGÊNIO VERDE, A. B. C. **Sonderausgabe: Grüner Wasserstoff.** Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf
 - DE OLIVEIRA, R. C. D. E. O. C. **PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL PANORAMA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL.** Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf
 - DE COMPETITIVIDADE:, S. P. P. **Hidrogênio energético no Brasil.** Disponível em:

<https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_com_pleto_2_2102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5>

- **NOCTULA. As cores do Hidrogênio! O que as distingue?** Disponível em: <<https://noctula.pt/as-cores-do-hidrogenio/>>
- **Com muita energia limpa, Brasil mira mercado de hidrogênio verde.** Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2023/06/29/com-muita-energia-limpa-brasil-mira-mercado-de-hidrogenio-verde.ghtml>
- **ECOM. Matriz energética mundial e brasileira: potenciais de geração de energia renovável.** Disponível em: <<https://ecomenergia.com.br/blog/matriz-energetica-mundial-e-brasileira-potenciais-de-geracao-de-energia-renovavel/>>
- **IFSC Verifica.** Disponível em: <<https://www.ifsc.edu.br/web/ifsc-verifica/w/ja-ouviu-falar-no-hidrogenio-verde-saiba-o-que-e-e-como-ele-pode-ajudar-no-combate-as-mudancas-climaticas>>
- **MATRIZ ENERGÉTICA.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>
- **P&D - Pecém H2V.** Disponível em: <<https://brasil.edp.com/pt-br/pd-pecem-h2v>>.