

O ESTADO DO CEARÁ EM DESTAQUE: O CASO DO HIDROGÊNIO VERDE

Ingyrd Feitosa Torres¹
Francisco Roberto Dias de Freitas²
Anderson Alcantara Medeiros³

INTRODUÇÃO

De acordo com as ideias de Bezerra (2021, p. 2) reporta que todos os habitantes espalhados ao longo do planeta buscam por soluções que levem à descarbonização da economia, com o intuito de reduzir os Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. É notório que esse efeito é o principal responsável pelas mudanças climáticas, que ameaçam a humanidade com catástrofes de grandes proporções tais como: inundações, desertificações, derretimento de geleiras, entre outras. Nesse sentido, o Acordo de Paris⁴, datado em 15 de dezembro de 2015, configura um marco importante no combate à poluição atmosférica, uma vez que o supracitado Acordo estabeleceu como meta limitar o aquecimento global abaixo de 2 °C, preferencialmente 1,5 °C, até o fim do século.

Esses valores absolutos estabelecidos em °C corrobora diretamente para a viabilização de um futuro sustentável para o planeta e seus habitantes, e por analogia, transita necessariamente pela redução do CO₂, de forma expressiva. Nesse caso em particular, o estudo recorre aos consumidores de veículos automotores que empregam o uso do álcool, gasolina ou óleo diesel sofra influência dos meios de comunicação de massa como tvs, rádios, internet, jornais, dentre outras, esse contingente populacional percebeu que é necessário substituir o uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Assim sendo, um dos caminhos para viabilizar essa transição energética, com o intuito de alcançar uma economia de baixo carbono é através do uso do hidrogênio (H₂) em processos industriais e como combustível alternativo aos derivados de fontes fósseis (BEZERRA, 2021, p.2).

Desse modo, o estudo discorre sobre os combustíveis fósseis sob o prisma conceitual, emprego e temporalidade da seguinte maneira: primeiro, entende-se como combustíveis fósseis sendo aqueles provenientes do petróleo, gás natural e pelo carvão mineral. No que diz respeito ao petróleo, em países em processo de desenvolvimento (caso brasileiro) há uma forte demanda pela gasolina e óleo diesel. Vale assinalar que o modal terrestre

1 Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPQ). Discente do Curso de Engenharia de Produção Mecânica da Fundação Universidade Regional do Cariri (URCA). Email: ingyrdeng@hotmail.com

2 Doutor em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR), Curitiba (PR). Professor Adjunto lotado no Departamento de Economia da Fundação Universidade Regional do Cariri (URCA). Email: profrobertodias@gmail.com

3 Bacharel em Ciências Econômicas pela Fundação Universidade Regional do Cariri -URCA, Crato (CE), Brasil; Docente Especialista em Direito Tributário pela Faculdade Damásio de Jesus, Juazeiro do Norte (CE). Mestrando em Economia Regional e Urbana pela URCA. E-mail: andersonalmed@hotmail.com

4 Reconhece expressamente “a importância dos compromissos de todos os níveis de governo e de diferentes atores, de acordo com as respectivas legislações nacionais das partes, no combate às mudanças climáticas” (preâmbulo) (REI; GONÇALVES; SOUZA, 2017, p.90).

rodoviário efetuados com caminhões é o protagonista máximo no escoamento de mercadorias. Em segundo plano, o emprego de combustíveis fósseis pela espécie humana, particularmente o carvão mineral, é datada a milhares de anos. Durante a revolução industrial marcada pela produção e reprodução de mercadorias, ocorrida na Inglaterra no século XVIII, aumentou a necessidade de abastecimento energético das indústrias e a exploração e extração de carvão mineral disparou. posteriormente, no século XIX, a exploração do petróleo continuou em escala ascendente e deu uma nova lufada de ar fresco no acesso à energia aos pequenos e grandes industriais mundiais. Para, além disto, o desenvolvimento da maquinaria no século XX, a exploração do gás natural permitiu também que durante muitos anos se vivesse uma era de despreocupação energética generalizada (RIBEIRO, 2014, p.1).

Ao adentrar no século XXI, o hidrogênio verde surge como uma alternativa sustentável, logo representa um avanço e inovação no setor energético. Ademais, o mencionado hidrogênio possui elevado potencial em alterar a vida do cidadão como estilo de vida, consumo, comportamento e produção de bens. Em termos técnicos, pode-se dizer que a sua produção advém da eletrólise da água utilizando eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, como o vento e a energia solar. Quanto à praticidade da eletrólise é relevante citar as ideias de Cardoso (2022, p.9) da seguinte forma: “[...] a eletrólise é um processo que injeta corrente contínua (DC) numa substância (eletrólito) por meio de um ânodo e um cátodo. No ânodo irá ocorrer uma oxidação, perdendo elétrons e no cátodo acontece um ganho de elétrons ocorrendo assim uma redução”.

Segundo a IEA (2019), as tecnologias já disponíveis hoje permitem que o hidrogênio produza, armazene, mova e use energia de maneiras diferentes. Uma grande variedade de combustíveis é capaz de produzir hidrogênio, incluindo energias renováveis, nuclear, gás natural, carvão e petróleo. Pode ser transportado como um gás por gasodutos ou na forma líquida por navios, assim como o Gás Natural Liquefeito (GNL). Pode ser transformado em eletricidade e metano para abastecer residências e alimentar a indústria, e em combustíveis para carros, caminhões, navios e aviões. Assim, o hidrogênio pode ajudar a enfrentar vários desafios energéticos críticos, oferecendo maneiras de descarbonizar uma gama de setores incluindo transporte de longa distância, produtos químicos, ferro e aço, em que está provado ser difícil reduzir as emissões de forma significativa.

Outro ponto positivo para a implementação do hidrogênio verde é a sua capacidade de não expelir substâncias tóxicas no meio ambiente, ou seja, não depende do uso de combustíveis fósseis para a sua operacionalidade. O fato é: sua transmissão e difusão no bojo do ambiente econômico/financeiro traça as bases para que em um futuro não tão distante exista uma sociedade mais justa, racional e sustentável.

Cientes da sua relevância para o meio ambiente, bem como na área empresarial a

International Energy Agency (IEA) que tem o Brasil como um dos seus países associados menciona que na América Latina em 2019, a produção de hidrogênio demandou mais gás natural do que toda a oferta de gás no Chile e, emitiu mais CO₂ na atmosfera do que a frota inteira de veículos da Colômbia. Em valores relativos, a *Agency* informou que aproximadamente 90% de toda a demanda proveniente da América Latina estava concentrada nas economias do Brasil, Argentina, Chile, México e Colômbia. Acrescenta-se ao relato, explicitando que Trinidad Tobago (sozinho) consumiu mais de 40% de toda a demanda do hidrogênio produzido (IEA, 2019, pp.1-2).

No binômio produção/demanda, a expressão economia do hidrogênio no ambiente nacional concentra seus esforços no Ministério das Minas e Energia (MME) por meio de um documento denominado de “Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, datado em 2005⁵. Dentre as premissas que deve nortear o surgimento de um novo modelo desenvolvimento para o mercado de hidrogênio, o estudo menciona:

- i) Diversificação da matriz energética brasileira com crescente participação dos combustíveis renováveis; ii) Redução de impactos ambientais, principalmente aqueles oriundos da poluição atmosférica em grandes centros urbanos; iii) Redução da dependência externa de combustíveis fósseis; iv) Desenvolvimento de base tecnológica para auferir confiabilidade aos consumidores; v) Planejamento da participação da indústria nacional de bens e serviços no desenvolvimento da nova economia (CGEE, 2010, pp.15-16).

No âmbito jurídico, segundo as palavras do pesquisador Juliano Henan na obra literária intitulada “Energia que dar gosto: regulação do hidrogênio verde no Brasil” enuncia que cabe ao “direito empresarial ou cível regular como se darão as interações mercadológicas dos principais *stakeholders* da cadeia de H₂, o que pode ser auxiliado pelas políticas públicas estatais” (HEINAN, 2022, n.p). É importante frisar que o emprego de políticas públicas, neste caso, a “regulação por incentivos deverá induzir o mercado para que se consiga a substituição de energéticos, preparando para a transição exigida pela agenda das mudanças climáticas” (HEINAN, 2022, n.p).

Atento as mudanças climáticas e a ascensão do emprego de energias renováveis, o Estado do Ceará não ficou a reboque desse processo. A data de 27/10/2021 representa um marco histórico onde o governador Camilo Santana durante sua estadia em Roterdã, cidade holandesa “assinou o 11º memorando de entendimento para produção de hidrogênio verde no Complexo do Pecém, no Ceará. O protocolo, que prevê investimentos de 2 bilhões de dólares nos próximos anos com o consórcio *Transhydrogen Alliance*” (CEARÁ, 2021, n.p). No tocante ao objeto do projeto e o *Hub* do hidrogênio verde, verifica-se:

⁵ Para maiores informações ver CGEE. Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. **Parcerias Estratégicas**. n.20, pt.2, p. 795-820. jun/2005.

O objetivo do projeto é produzir pelo menos 500.000 toneladas de hidrogênio verde por ano, que equivalem a cerca de 2,5 milhões de toneladas de amônia verde, e exportar para a Europa pelos portos do Pecém e de Roterdã, que são parceiros comerciais. O HUB de Hidrogênio Verde do Ceará, instalado no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, foi lançado neste ano em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Federação das Indústrias do Ceará (Fiec). A ideia é buscar reduzir a emissão de poluentes com novos investimentos e ampliar as oportunidades de negócios e geração de empregos no Ceará, para assim impulsionar a economia do Estado. O hidrogênio verde (H2V) é produzido através de fontes renováveis e é atualmente considerado o pilar da transformação (CEARÁ, 2021, n.p).

No ano seguinte os investimentos do *Hub* voltados a exploração do hidrogênio verde seguem em ritmo acelerado. Demonstra-se o fato através da assinatura de mais um memorando. Desta vez, foi o Memorando de Entendimento em 16/03/2022 com a empresa *H2Green Power*, totalizando 17 protocolos para o fortalecimento do *Hub* de H2V. De acordo com Maia Júnior, secretário de Desenvolvimento Econômico e do Trabalho “[...] serão milhares de postos de trabalho gerados com a nova usina de Hidrogênio Verde da *H2 Green Power*, e do complexo solar que será construído pela *Kroma Energia*” (CEARÁ, 2022, n.p).

Nesse contexto, o estudo construído possui como objetivo geral mostrar a importância do hidrogênio verde no mundo dos negócios e para o meio ambiente no Estado do Ceará, Brasil. Para os objetivos específicos, tem-se: mostrar as vantagens do hidrogênio verde para o meio ambiente e seu reflexo na saúde humana; mostrar quais os métodos empregados na sua produção; e por último, detectar quais os desafios para a efetivação da atividade.

A escrita ao concentrar seus esforços para os procedimentos metodológicos com suas etapas em questão, não pode deixar de expressar a relevância do direito ambiental, assim como o direito de energia com a temática. Sendo assim, o pesquisador Rômulo Sampaio na obra intitulada “Direito Ambiental” alude o aspecto antropocêntrico do mencionado direito com os seguintes dizeres:

No seu viés antropocêntrico, o **direito ambiental** [grifo nosso] consagrada o princípio da sadia qualidade de vida como decorrência do princípio da dignidade da pessoa humana, que pauta o regime constitucional brasileiro. A vida é um direito fundamental que apenas se completa com as garantias sociais, econômicas e ambientais. O equilíbrio do meio ambiente é, assim, um pressuposto da garantia da qualidade da vida com dignidade. E, portanto, deve ser garantido pelo Poder Público enquanto gestor dos bens, recursos e serviços ambientais (SAMPAIO, 2013, p.30).

O Estado do Ceará, situa-se na região do nordeste brasileiro, perfilando divisas com os estados federativos do Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN), Pernambuco (PE) e Paraíba (PB) com uma população estimada (2021) de 9.240.580 e taxa de urbanização (censo 2010) de 75%,¹⁰ (CEARÁ, 2022, p.66). Quanto ao formato do seu aspecto

geográfico, Vieira (1968, p.15) o define como “[...] um Estado murado, aprisionado, encerrado. Está cercado por montanhas por todos os lados, menos por um, por onde se liga ao mar”.

Litoral que possibilitou durante a segunda metade do século XXI, colocar o Ceará no cenário das energias renováveis como destaca Ceará (2022, p.359) ao enfatizar “[...] o potencial de geração de energia eólica e fotovoltaica ao conectar com o hidrogênio verde a ser produzido e exportado de navio”. Nesse contexto, a supracitada fonte elenca o protagonismo do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, em São Gonçalo do Amarante. Acerca do Complexo e sua importância para a economia cearense é relevante citar as seguintes palavras:

[...] o Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP como parte de uma política de atração industrial, iniciada na década de 1960, que a pouco se materializa no espaço metropolitano cearense com a intensificação dos fluxos de capital e da força de trabalho. Este fato concorre para dinamizar outros setores da economia, como o comércio e os serviços, o que nos levou a indagar sobre o papel do CIPP na indução e configuração da mobilidade do trabalho na RMF, as formas de trabalho a ele associadas, bem como a produção do espaço metropolitano (TELES, 2014, pp.116-117).

A composição do citado levantamento contará com a presença de informações disponibilizadas por órgãos e agências correlacionadas ou não com os poderes executivos em nível estadual/federal, artigos especializados, livros, teses, dissertações, documentos digitalizados, entre outras. Nesse viés, o uso de artigos especializados “deve conter dados suficientes para que o leitor possa analisar os argumentos do autor; replicar a metodologia, avaliar o peso científico da pesquisa e deve estar disponível para a comunidade acadêmica” (MARCONI; LAKATOS, 1991; BRASIL, 2016, p.7).

Para esse tipo de abordagem, o estudo recorrerá ao fenomenológico. De acordo com Gil (2008, p.14), o Método “propõe-se a estabelecer uma base segura, liberta de proposições, para todas as ciências”. De posse das palavras do idealizador da fenomenologia, Edmund Husserl (1859-1938), o pesquisador Bochenski na obra literária “A Filosofia Contemporânea Ocidental”, publicada em 1968 trouxe algumas palavras sobre o papel do pesquisador:

O pesquisador preocupa-se em mostrar e esclarecer o que é dado. Não procura explicar mediante leis, nem deduzir com base em princípios, mas considera imediatamente o que está presente na consciência dos sujeitos. O que interessa ao pesquisador não é o mundo que existe, nem o conceito subjetivo, nem uma atividade do sujeito, mas sim o modo como o conhecimento do mundo se dá, tem lugar, se realiza para cada pessoa (BOCHENSKI, 1968; GIL, 2008, p.14).

VANTAGENS DO HIDROGÊNIO VERDE

Há uma estreita ligação do Hidrogênio verde com o crescimento populacional, uma vez que a demanda por produtos oriundos do petróleo e seus derivados como é o caso do plástico compromete a biodiversidade, o homem econômico e a sobrevivência de animais ameaçados de extinção. Nesse contexto, o estudo em construção conduz a discussão para o caso das tartarugas - marinhas. De acordo com o Portal G1, em reportagem exibida em 23/01/2022, informa que foi encontrada uma tartaruga no município de Aquiraz/CE, mais precisamente na praia do Porto das Dunas, onde o animal encontrava-se enrolado por um plástico preso ao seu corpo. Segundo as palavras do advogado Antônio Bispo comenta o fato através dos seguintes dizeres: “Cheguei ao Ceará uns cinco anos. É a terceira vez que vejo tartarugas-marinhas mortas na faixa de areia. Duas vezes aqui no Porto das Dunas e outra vez na Praia do Barro Preto”⁶.

Esse fato não é isolado. Em 2020, o Instituto Verdeluz, responsável pelo monitoramento das tartarugas marinhas no Estado do Ceará em reportagem concedida ao jornal Diário do Nordeste (DN) no dia 21/08/2020 informou que até julho daquele ano tinha ocorrido 29 óbitos contrapondo os 21 catalogados de janeiro à agosto de 2019. Em valores relativos, pode-se afirmar categoricamente que o acréscimo de óbitos foi na ordem de 38,10% (DN, 2020, n.p).

E mais:

De acordo com a bióloga e coordenadora do Instituto, Alice Feitosa, mestranda em Ciências Marinhas Tropicais pela Universidade Federal do Ceará (UFC), a situação ficou mais intensa após o surgimento das manchas de petróleo no litoral nordestino, no ano passado. Segundo a profissional, entre o aparecimento do material oleoso até este ano a quantidade de encalhes mais que dobrou. Além do óleo, a profissional atribui a poluição dos mares ao aumento dos casos. O descarte irregular de materiais para pesca, além da presença de lixo na costa, estariam entre os motivos. “Nós encontramos muito material de pesca durante os exames. Chamamos isso de pesca fantasma, quando o pescador joga material perto de corais. As tartarugas se alimentam por lá e a linha da pesca enrosca e sufoca o animal. Achamos também muito lixo, principalmente no intestino” (DN, 2020, n.p).

Apesar dos esforços de pesquisadores ligados diretamente ao setor energético, sem esquecer da relevância do setor petroquímico em buscar minimizar danos através de fontes alternativas de energia já mencionado em passagens anteriores, o relatório da Agência Internacional de Energia (IEA) enuncia que os combustíveis fósseis ainda continuarão a ser uma grande fonte de energia mundial (PEREIRA et al; 2022; PAIVA, 2022, p.41). Assim, os compostos aromáticos configurados pelo benzeno, tolueno e xileno (BTX) consoante a Agência de Proteção Ambiental Estadunidense enquadra os BTX na condição de poluentes prioritários ao oferecer riscos à saúde humana, assim como o

⁶ Para maiores informações sobre a reportagem ver G1. CEARÁ. **Tartaruga é encontrada morta na praia do Porto das Dunas, no Ceará**, 2022. Disponível em: < <https://g1.globo.com/cc/ceara/noticia/2022/01/23/tartaruga-e-encontrada-morta-presa-a-saco-plastico-em-praia-do-ceara.ghml> >. Acesso: 17 abr. 2023.

meio ambiente (PAIVA, 2022, pp.41-42).

No campo jurídico, a minimização do emprego dos BTX verifica-se nas resoluções do CONAMA nº 396 e nº 357 do Ministério do Meio Ambiente, ao estabelecer as concentrações máximas de benzeno, tolueno e xileno para consumo humano de 5 µg/L, 170 µg/L e 300 µg/L na água subterrânea e 0,005 mg/L, 2 µg/L e 300 µg/L, em água doce (CETESB, 2021; FAVEMIWO; DARAMOLA; MOOTHI, 2017; PAIVA, 2022, p.42). Vale destacar que os BTX ao serem inalados pelos indivíduos podem causar doenças crônicas em comprometimento do funcionamento de órgãos vitais como pulmões, rins e fígado. Nesse rol, o estudo recorre a exposição dos frentistas dos postos de combustíveis, não somente do solo cearense, porém os inúmeros espalhados ao longo de todos os estados da federação. Sobre os processos inflamatórios pulmonares, a bronquiolite é retratada da seguinte maneira:

São processos inflamatórios centrados em vias aéreas com diâmetros de 2mm, que em geral correspondem às regiões pulmonares distais aos bronquíolos membranosos. Embora os processos sejam centrados nos bronquíolos, a inflamação se propaga pelos septos alveolares adjacentes levando a acometimento intersticial proeminente. Histologicamente são reconhecidos vários padrões de bronquiolites como, por exemplo, a bronquiolite aguda, folicular, constritiva e proliferativa. Existem várias causas para quadros bronquiolares, como por exemplo, infecções virais, inalação de gases tóxicos, aspiração crônica do conteúdo digestivo e agressões de natureza imunológica associada a doenças colágeno-vasculares, rejeição crônica de transplante de medula óssea (KREISS, 2003; ALVES, 2014; SILVA, 2021, p.21).

Vale assinalar que a intoxicação do BTX decorre da presença de algum dos seus componentes ao adentrar no organismo provocando por exemplo, desconforto, instabilidade e mal-estar para com o agente. Seguindo o emaranhado percurso de ideias sobre o GTX, chega-se ao ideário das pesquisadoras Militão e Rafaeli (2000, pp.4-5) reportando que a neuropatia é tipificada em sensorial, independente e motora. Ao discorrer as características da penúltima neuropatia, os citados autores mencionam que “[...] afeta os nervos que controlam as atividades involuntárias do corpo como do estômago, intestino, barriga e até mesmo o coração. Pode causar impotência sexual em homens”.

Com a saúde em risco, os trabalhadores do Brasil que lidam diretamente com o BTX ganharam um aliado no campo jurídico no final do século com a publicação da Portaria nº 14, de 20 de dezembro de 1995. Essa Portaria alude “que o benzeno⁷ é uma substância reconhecidamente carcinogênica” (BRASIL, 1995, p.1). Nesse mesmo documento jurídico, o Anexo 13 - A informa:

3. Fica proibida a utilização do benzeno, a partir de 01 de janeiro de 1997, para qualquer

⁷ Nesse período ocorreu o Acordo Nacional do Benzeno. Todavia o avanço veio com a Portaria nº 01 de, de 18 de março de 1996, onde evidencia a instalação de uma Comissão Nacional Permanente do Benzeno (CNP-Benzeno), conforme determinação do Art. 1º (BRASIL, 2005, p.63).

emprego, exceto nas indústrias e laboratórios que: a) o produzem; b) o utilizem em processos de síntese química; c) o empreguem em combustíveis derivados de petróleo; d) o empreguem em trabalhos de análise ou investigação realizados em laboratório, quando não for possível sua substituição; e) o empreguem como azeótropo na produção de álcool anidro, até a data a ser definida para a sua substituição (BRASIL, 1995, p.2)

No Texto Constitucional de 88, enuncia em seu Art. 225 que “todos têm direito ao meio ambiente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” (BRASIL, 2016, p.131). Ainda protegendo o meio ambiente da ação antrópica, Brasil (2016, p.131), no parágrafo 3º, do inciso VII evidencia sanções penais e administrativas para os infratores, independente da pessoa física ou jurídica.

Foi nesse caminho que o hidrogênio verde ganhou espaço como fonte energética limpa, com baixo impacto no meio ambiente, sustentável e interage com o pensamento sistêmico. Para esta última característica, consoante Henderson (2007, p.71) trata-se de uma expressão nova que abrange a complexidade de mudanças institucionais, bem como o comportamento dinâmico de grandes organizações e de sistemas globais. Em outras palavras, o pensamento em questão, localiza-se no bojo dos níveis: global, internacional, nacional, corporativo, governos locais, sociedade cívica e a família/indivíduo. Embora o autor não tenha mencionado a segurança jurídica, a mesma não fica a reboque dos níveis citados.

Nesse viés ideológico, composto por pensamento racional, econômica e jurídica que o executivo cearense, esteve em Brasília no dia 24/04/2023 para uma reunião com o vice-presidente da república, Geraldo Alckmin para tratar da base do hidrogênio verde. Naquela ocasião o governador Elmano de Freitas, expressou a relevância da segurança jurídica com o emprego do combustível através dos seguintes dizeres:

Nós precisamos, fundamentalmente, garantir uma regulamentação, uma segurança jurídica, que várias políticas que já existem hoje sobre energias renováveis possam ser estendidas para o hidrogênio verde, e que a gente possa aproveitar ao máximo a zona de processamento de exportação, no Porto do Pecém, e a parceria que já existe no plano internacional com o Posto de Roterdã (DN, 2023, n.p).

Acrescenta-se as informações as ideias levantadas pelo DN (2023, n.p) quanto à possibilidade de inclusão de famílias pobres do Ceará no plano de geração de energia renovável por meio do hidrogênio verde para o gestor cearense. De posse de um corpo técnico capacitado como é o caso do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) o Governador expressou: “É uma oportunidade de crescimento econômico e com melhoria de vida do povo pobre do nosso Estado [...] terá incentivo quanto à capacitação técnica, à busca de crédito para a produção e à regulamentação para adquirir a energia produzida por essas famílias” (DN, 2023, n.p).

O armazenamento, também merece destaque, e que sua vez será reportado posteriormente. Entretanto, ao focar as atenções no gás comprimido, consoante as palavras discorridas por Amos (1998) e Morais (2022, p.23), o gás nesta conjuntura é mais simples em virtude do uso de apenas um compressor e um vaso de pressão. Visto pelo lado da eficiência econômica, apontam a baixa densidade de armazenamento como obstáculo a ser superado. É fato, quanto maior a pressão no armazenamento, maior serão os investimentos em capital empado, e por analogia, maiores serão os custos operacionais. É importante destacar o protagonismo do emprego tecnológico, pois quanto maior nível tecnológico, maior eficiência e menor redução do tempo de trabalho necessário na execução de tarefas.

Sob o aspecto da liquefação, o armazenamento do hidrogênio líquido necessita que o resfriamento do gás chegue até a etapa final tornando-o líquido. Todavia, para que o processo de resfriamento atinge o ponto ideal, em outras palavras, em sua plenitude o mesmo depende de compressores, trocadores de calor, expansores e válvulas (FLYNN, 1992; AMOS, 1998; SANTOS JR, 2004, p.47).

Em última análise, tem-se o risco de esgotamento. Nesse caso, pode-se afirmar que não existe esta possibilidade. A explicação para a afirmação advém da ausência total do carbono em sua composição química. Assim sendo, inviabiliza a emissão de CO₂, tornando-o uma fonte energética centralizada no ideário da sustentabilidade e podendo ser usado por tempo indeterminado.

MÉTODOS EMPREGADOS NA PRODUÇÃO

Nesta etapa do estudo em construção, há um emaranhado de informações de caráter técnico – científico. Inicia-se a literatura ao afirmar a existência de dois métodos primários. Sendo assim, a produção direta ocorre a partir da junção da água com a eletricidade resultando em um processo químico conceituado como eletrólise. Para o pesquisador Monteiro (2021, p.6) “os eletrolisadores têm como função produzir hidrogênio, como produto final, separando a molécula de água através da corrente elétrica. Neste caso, a produção de hidrogênio tem de ser realizada com base em fontes de energia renovável, tornando assim o hidrogênio “verde”. No que tange a produção indireta, verifica-se o emprego do gás natural na extração do hidrogênio do objeto. Já o método direto ao empregar a eletrólise na separação da água em hidrogênio e oxigênio ocorre em duas etapas: a primeira necessita da eletricidade a fim de quebrar a água em hidrogênio e oxigênio. Posteriormente, observa-se a coleta e armazenamento do hidrogênio e oxigênio.

Nesse trajeto e com riqueza de detalhes a abordagem da Termodinâmica da água e os tipos de eletrolisadores pode ser vista da seguinte maneira:

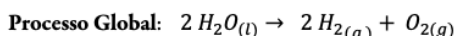
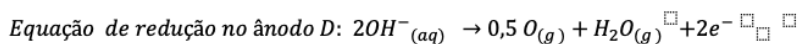
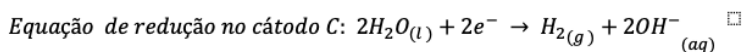
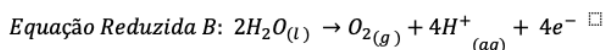
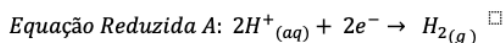
I – Termodinâmica da água

Antemão é importante enunciar o que vem a ser a eletrólise da água. Conforme Barroso et al. (2022) e Borges (2011, p.19) esse processo eletroquímico é de fácil compreensão, mesmo para pesquisadores que não atuam na área da engenharia de energia, pois corresponde a dissociação da água que consiste na decomposição das moléculas de água (H_2O) em moléculas de oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2). De forma acadêmica o processo eletroquímico foi descrito da seguinte maneira:

Dois eletrodos, um carregado positivamente e outro carregado negativamente, ânodo e cátodo, respectivamente, são imersos no recipiente com água, quando o sistema é conectado a uma fonte de eletricidade, ocorrem duas reações, uma semirreação de redução e uma semirreação de oxidação. A água depositada no recipiente é formada pelos íons H^+ (cátion) e OH^- (ânion). Os íons positivos são atraídos pelo eletrodo cátodo gerando hidrogênio (H_2), já os íons negativos são atraídos pelo eletrodo ânodo gerando oxigênio (O_2) e água (H_2O) (KNOB, 2013; GOMES, 2011; BORGES, 2022, p.19)

Vale frisar que o processo global depende de quatro reações. Duas reações de redução e duas reações de oxidação (BORGES, 2022, pp.19-20). Matematicamente, tem-se:

$$Proc. Glob. = f(A, B; C, D) \quad \square$$



Ao seguir os passos de Borges (2022, p.20), pode-se dizer que a eletrólise em escala industrial é empregada em três tipos de unidades, conforme a ordem estabelecida: alcalina unipolar/bipolar, eletrizadores de óxido sólido (SOE) e por membrana polimérica condutora de prótons (PEM). Assim, o estudo discorre os tipos por meio dos dizeres:

I) ELETRÓLISE ALCALINA

Antes de tipificar a eletrólise alcalina em unipolar e bipolar, o estudo concentra-se as atenções para os postulados das ciências econômicas decorrente dos argumentos direcionar aos custos de produção e emprego tecnológico da eletrólise em questão por meio dos dizeres:

os eletrolisadores alcalinos apresentam uma tecnologia mais “madura” configurando custos de investimentos inferiores às demais alternativas e a opção mais utilizada em larga escala.

Contudo, a utilização de solução alcalina como eletrólise apresenta uma desvantagem em larga escala. Contudo, a utilização de solução alcalina como eletrólise apresenta uma desvantagem em relação a outros tipos de eletrolisadores devido à necessidade de regeneração do eletrólito líquido, resultando em módulos eletrolíticos maiores e, por consequência, maiores custos associados (URSÚA; GANDIA; SANCHIS, 2012; BARBOSA, 2020, p.28).

Nesse ambiente de custos e tecnologias, o lucro não pode ficar de fora. O economista Joseph Alois Schumpeter na obra “Teoria do Desenvolvimento Econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico”, menciona que “o lucro empresarial é um excedente sobre os custos. Do ponto de vista do empresário é a diferença entre receitas e despesas no negócio” (SCHUMPETER, 1985, p.87). No campo jurídico, a tecnologia encontrou um suporte na inovação. Conforme Brasil (2016, p.129), o Art. 219 em seu parágrafo único assim descreve:

O Estado estimulará a formação e o fortalecimento da inovação nas empresas, bem como nos demais entes, públicos ou privados, a constituição e a manutenção de parques e polos tecnológicos e de demais ambientes promotores da inovação, a atuação dos inventores independentes e a criação, absorção, difusão e transferência de tecnologia.

O aspecto ambiental veio com as ideias de Sousa (2013, p.57) ao afirmar que a “energia elétrica poderá vir de fontes renováveis, como a energia solar, eólica, hídrica, maremotriz, geotérmica, entre outras. Com estes tipos de fontes renováveis, o uso da eletrólise tem como vantagem ser uma forma de produzir hidrogênio com tecnologia limpa”. Nos sistemas unipolar e bipolar, a distinção tem como pano de fundo explicado as ideias dos pesquisadores Kai Zeng e Dongle Zhang na produção literária intitulada “*Dongke. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications*” e Dayana D’ Arc de Fátima Palhares em “Produção de Hidrogênio por Eletrólise Alcalina da Água e Energia Solar” com os seguintes dizeres mostram sua relevância:

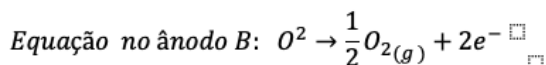
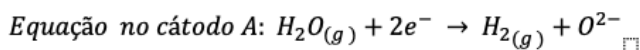
Nos eletrolisadores unipolares, cada semi reação ocorre em um eletrodo diferente e nos eletrolisadores bipolares as duas semi reações ocorrem em ambos os lados do mesmo 16 eletrodo (excetuando-se os dois eletrodos finais conectados à fonte de corrente contínua). A diferença entre a disposição dos eletrodos leva a tensões e correntes de operação diferentes. Em processos industriais, os valores geralmente encontrados para tensão nos eletrolisadores unipolares são 2,2 V e nos eletrolisadores bipolares $2,2 \times (n-1)$ V - em que n é o número de eletrodos. Eletrolisadores unipolares são simples de serem fabricados, porém exigem altas correntes e baixas tensões, o que leva a alta perda ôhmica. Já nos eletrolisadores bipolares a perda ôhmica é menor, contudo, demandam muito mais precisão em sua fabricação para prevenir vazamentos de gás e de eletrólito entre as células (ZENG; ZHANG, 2010; PALHARES, 2016, pp.16-17).

II) ELETROLISADORES DE ÓXIDO SÓLIDO (SOE)

Em termos de eficiências, os autores Ursúa, Gandia e Sanchis (2012); Zeng e Zhang

(2010) e por fim, Palhares (2016, p.18) informam a superioridade dos eletrolisadores SOE em relação os eletrolisadores alcalinos e do PEM, onde a eletrólise do vapor da água ocorre em elevadas temperaturas girando em torno de 600 a 900 °C. Em nível de operacionalidade, no mundo da engenharia química não é exagero dizer que o mesmo compreende como o oposto de uma célula a combustível de óxido sólido.

A praticidade é descrita por Palhares (2016, p. 18) da seguinte forma: “O vapor é alimentado no cátodo, onde será produzido o gás hidrogênio. Os íons de óxido gerados passam pelo eletrólito sólido até o ânodo para formarem o gás oxigênio, liberando os elétrons e fechando o circuito”. Soma-se as palavras da autora através da construção de semirreações no cátodo e no ânodo estão descritas nas Equações A e B da seguinte forma:

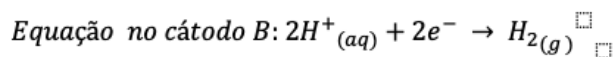
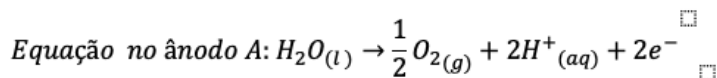


É importante destacar que “as elevadas temperaturas de operação reduzem as tensões na célula e aumentam as taxas das reações eletroquímicas. Contudo, eletrolisadores SOE apresentam problemas de estabilidade a longo prazo, causados, por exemplo, pelo envelhecimento do eletrólito” (URSÚA; GANDIA; SANCHIS, 2012; PALHARES, 2016, p.19).

III) ELETROLISADORES POR MEMBRANA POLIMÉTRICA (PEM)

A principal característica do eletrolisador do tipo PEM é ter um eletrólito sólido. O eletrólito é uma fina membrana polimérica feita, por exemplo, de Nafion (um polímero sulfonado similar ao politetrafluoretano, Teflon). A membrana tem somente 0,25 mm de espessura e serve também como uma membrana separadora entre os gases evoluídos, permitindo maior proximidade entre os eletrodos (SOUZA, 1998; ZOULIAS et al, 2004; GAMBETA, 2010, p.21).

Desse modo, as semi reações tanto no ânodo como cátodo são expressões logo abaixo (URSÚA; GANDIA; SANCHIS, 2012; PALHARES, 2016, p.18):



Em termos comparativos os eletrolisadores alcalinos são menos eficientes energeticamente do que os eletrolisadores PEM. A explicação tem como pano de fundo, este último apresentar maiores taxas de produção, além de serem mais compactos. Ao continuar com a análise econômica, o estudo revela os elevados custos de investimentos, em especial no que refere aos tipos de membrana e de eletrodos. Vale frisar que ambos apresentam menores tempos de vida útil (URSÚA; GANDIA; SANCHIS, 2012; ZENG; ZHANG, 2010; PALHARES, 2016, p.18).

Para o pesquisador Victor Alejandro Rivarola Balbuena em seu trabalho dissertativo que tem como título “Caracterização de Placa Bipolar de Eletrolisadores Alcalinos para a Produção de Hidrogênio” publicada em 2012, faz alusão à tecnologia com as seguintes palavras:

A diferença desta tecnologia com respeito a eletrolisadores alcalinos é que não utiliza eletrólito líquido. Em seu lugar, emprega uma membrana de eletrólito polimérico de condução de próton de caráter ácido. Assim, só água deionizada circula pela célula. As células do conjunto são muito compactas, e apresentam altas eficiências e altas densidades de corrente (2 A/cm²). A membrana cumpre dupla função, ela transporta as cargas iônicas (prótons solvatados) e evita a mistura dos gases produzidos. O eletrólito sólido polimérico utilizado é o Nafion® desenvolvido por E.I. DuPont Co. no final dos anos 1960. Esta membrana apresenta boa estabilidade química, mecânica e térmica para a alta condutividade de prótons. A célula desta tecnologia consiste em eletrodos prensados contra a membrana polimérica, formando assim o conjunto eletrodo-membrana-eletrodo (MEA – *Membrane Electrode Assembly*). A desvantagem é que apesar dos prótons móveis permanecerem confinados dentro da membrana, o caráter ácido muito forte requer materiais com boa resistência à corrosão. Assim, unicamente catalisadores de metais nobres (Pt, Ru, Pd) são utilizados, elevando os custos da tecnologia (BALBUENA, 2021, p.34).

DESAFIOS À EFETIVAÇÃO DA ATIVIDADE

Na atual conjuntura onde o mundo dos negócios presencia em telejornais, revistas, jornais impressos, plataformas digitais, entre outros veículos de comunicação de massa o conflito bélico envolvendo russos e croatas, deixa explícito que a produção e reprodução de mercadorias necessitam urgentemente do avanço em Pesquisas e Desenvolvidos (P&D) de energias renováveis como a eólica, solar e o do hidrogênio verde para comprar a dependência da queima de combustível fósseis. Vale frisar que o uso dos combustíveis fósseis pode ser analisado pelo lado da oferta e da demanda.

Sendo assim, os pesquisadores Fernandes et al (2023, p.3) citam o caso do gás natural produzido na Rússia. A incerteza dos russos quanto ao seu fornecimento do Gás para nações europeias tais como Áustria, Eslovênia, Polônia, entre outras estimularam o “velho continente” traçar estratégias para efetuarem um movimento financeiro de aproximadamente a US\$ 73 bilhões em apenas 1 ano. Para este montante, estão envolvidos pelo menos 25 países, dos quais 14% dos recursos financeiros virão dos setores públicos

e privados da Alemanha.

O continente africano e os Estados Unidos da América (EUA) não ficam a reboque. De acordo com *Carbon Tracker* (2022) e Fernandes et al (2023, p.3), o primeiro tem pretensões de também se tornarem líderes e para que isso venha a se concretizar pretende-se efetuar um dispêndio financeiro de US\$ 10 bilhões no hidrogênio renovável. Uma explicação plausível para a efetuação dos investimentos na visão de *Carbon Tracker* (2022, n.p) gira em torno do “[...] hidrogênio verde não fóssil nos próximos anos pode ter seu custo nivelado cair para menos de US\$ 2/kg, tornando-o uma das formas mais baratas de energia” [tradução nossa].

Para o segundo, Fernandes et al (2023, p.3) de posse das informações da *Inflation Reduction Act* (IRA)⁸ informa que os yankees pretendem alocar um montante bastante significativo de US\$ 370 bilhões destinados a mudanças climáticas e a transição de matriz energética com estimativa para o hidrogênio verde US\$ 3 por kg produzido conceituado como limpo.

Em termos de Brasil, esse valor monetário determinado em dólar é uma variável considerável, contudo não suficiente. Logo, reportar a implementação do hidrogênio verde na economia brasileira em sua economia é percorrer os obstáculos dos desequilíbrios regionais. De acordo com Baer (1996, p.284), “a desigualdade espacial no crescimento e desenvolvimento de renda tem sido uma característica da economia brasileira desde os tempos coloniais e cada um dos ciclos de exportação de produtos primários do passado beneficiou uma ou outra região”.

O Ceará como parte integrante do Nordeste e situado distante das regiões Sul e Sudeste encontrou na exploração do hidrogênio verde um potencial inovador de natureza econômica, política, social, jurídica e ambiental na solução ou amenização de problemas edafoclimáticos intrinsecamente ligados a dependência do uso de combustíveis fósseis em sua totalidade. Vale assinalar que o uso do *diesel* S10⁹ a partir de 2013 em solo cearense configura um exemplo de combustível não poluente para os veículos SUV e caminhões em comparação ao *diesel* 500 (tradicional). É importante destacar que o uso desse último tipo de *diesel*, refere-se aos veículos automotores antigos, embora seja comum encontrá-los em postos de combustíveis.

Seguindo as informações contidas no Portal do Hidrogênio Verde, o estudo menciona os seguintes desafios para o executivo cearense: I) preço; II) armazenamento/distribuição; III) implementação de um marco regulatório. De forma didática, tem-se:

8 Para maiores informações acerca do IRA ver *C40 KNOWLEDGE. How states and cities can benefit from climate investments in the Inflation Reduction Act*, 2022. Disponível em: <https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-states-and-cities-can-benefit-from-climate-investments-in-the-Inflation-Reduction-Act?language=en_US&gclid=EAlaQobChMlv83erPTg_gIVoRXUAR16xgdoEAAAYASAAEgLtr_D_BwE>. Acesso: 6 mai. 2023.

9 Diesel com baixo teor de enxofre contendo 10ppm de S. Vale assinalar que a letra “S” expressa na tabela periódica significa enxofre (PERIN, 2014, p.26).

I) PREÇO

Ao recorrer aos postulados das ciências econômicas a variável preço exerce uma influência marcante tanto pelo lado da oferta como da demanda. De outra forma, a mencionada variável serve como quadro teórico de referência na produção e na aquisição de bens por parte dos agentes envolvidos. No mercado em competição perfeita, para o flanco da oferta há uma proporcionalidade entre preço e quantidade produzida, pois quando há um aumento do preço do bem, os produtores respondem a esse deslocamento elevando o nível de produção. Seguindo esse raciocínio, pelo flanco da demanda percebe-se uma inversibilidade entre preço e quantidade demanda. O fato é: quando ocorre um aumento do preço do bem, a resposta dos consumidores vem com a retração na aquisição do mesmo.

Ao direcionar essa discussão para a produção do hidrogênio verde, o Portal expõe o preço em cima de uma de análise de curto e longo prazo da seguinte maneira:

Quanto mais barata for a energia usada para gerar o hidrogênio verde, mais viável será expandir a cadeia produtiva. Atualmente, o hidrogênio verde é de duas a três vezes mais caro do que o hidrogênio azul. Estima-se que os custos de produção do hidrogênio verde podem cair 62% até 2030, para algo próximo de um patamar entre US\$ 1,4 e US\$ 2,3 por quilo. Se isso ocorrer, a paridade entre o custo do hidrogênio verde e do hidrogênio cinza pode ocorrer entre 2028 e 2034 – com projeções abaixo de US\$ 1 por quilo em 2040 (PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE, 2021, n.p)¹⁰.

II) ARMAZENAMENTO/DISTRIBUIÇÃO

O armazenamento é outro desafio para a difusão do hidrogênio verde em escala comercial. A explicação advém da premissa da existência de baixas temperaturas, a fim de evitar sua liberação em forma de gás. Consoante as informações do Portal do Hidrogênio Verde, o hidrogênio com essa característica configura uma alternativa energética vantajosa, promissora e segura no que diz respeito ao seu armazenamento de quantidades excedentes oriundas de energias eólica e solar¹¹. Cabe destacar que o Ceará possui em seu litoral leste e oeste um vasto potencial para elevar os parques eólicos. O aspecto solar também pode ser incluído nesse rol em virtude da sua posição geográfica privilegiada somada a presença de temperaturas elevadas, exceto no período chuvoso (janeiro a maio) favorecem a expansão da citada atividade.

E mais:

Há desafios em relação ao armazenamento do hidrogênio em tanques devido à sua alta volatilidade e inflamabilidade, mas há também opções mais seguras para mantê-lo guardado, como liquefazê-lo, diluí-lo em gás natural ou até agregá-lo à amônia – nesse caso, ele pode ser

10 Para maiores informações ver Portal do Hidrogênio Verde. **Desafios do Hidrogênio Verde**, 2021. Disponível em: <<https://www.h2verdebrasil.com.br/desafios-do-hidrogenio-verde/>>. Acesso: 06 mai. 2023.

11 Idem.

extraído da amônia no destino final. Tubulações de gás natural já instaladas podem transmitir o hidrogênio diluído (20% de H₂ e o restante de gás natural) por distâncias que podem superar 5 mil km. O potencial de transmissão energética nessas tubulações é dez vezes maior do que de uma linha elétrica e a um oitavo do custo¹².

Visto pelo flanco da distribuição, Paiva (2022, p.35) afirma que na atualidade existem várias formas de transportar o hidrogênio verde, por exemplo em forma de gás, líquido e de metais hidretos. Para pequenas distâncias, a pesquisa recomenda-se empregar o estado gasoso devido ao aspecto econômico. No quesito longas distâncias compreendendo o percurso de 300 a 400km, o modal rodoviário é o ideal para o estado líquido.

O Portal reporta o emprego dos modais por meio das seguintes expressões:

O setor de transportes gera 24% das emissões globais de CO₂ por causa da queima de combustíveis fósseis como a gasolina e o diesel. Deste montante, 3/4 são emitidos por carros, caminhões, ônibus e motocicletas. Por isso, mais de 20 países estão trabalhando para zerar as vendas de veículos poluentes até 2035. A meta da indústria automobilística mundial é ter 4,5 milhões de veículos movidos a bateria limpa rodando até 2030 – China, Japão e Coreia do Sul à frente. Projeta-se, paralelamente, a construção de 10,5 mil postos de abastecimento de hidrogênio para essa nova frota. No transporte naval, a amônia verde, sintetizada a partir do hidrogênio verde, pode impulsionar navios de carga, sendo o melhor custo-benefício para a descarbonização do tráfego de contêineres até 2030. Para o setor de aviação, o desafio é desenvolver tecnologia capaz de impulsionar aeronaves de pequeno a grande porte com hidrogênio líquido. Outra opção é substituir querosene de aviação por combustíveis sintéticos, à base de hidrogênio verde, que emitem menos carbono¹³.

III) IMPLEMENTAÇÃO DE UM MARCO REGULATÓRIO

Ao direcionar a temática para o viés da descarbonização pelos flancos da produção, demanda e oferta, o País deve o mais rápido possível implementar um marco regulatório para com o hidrogênio. Assim, a descarbonização atua como um divisor de águas, em particular na energia convencional, oriundas de termelétricas a carvão ou a gás, nuclear e de hidrelétricas de grande porte. Por outro lado, a energia incentivada com baixo impacto no meio ambiente como as originárias de fontes solar, eólica, biomassa e hidrelétricas de menor porte, o mercado deverá caminhar para o incentivo da produção do hidrogênio verde por conter atributos ambientais que possibilitarão o atingimento de metas de sustentabilidade que pode ser realizada através de um desembolso em forma de um preço “prêmio”, tendo como pilares de sustentação os passos da origem de produção do hidrogênio (OLIVA JÚNIOR, 2021; BEZERRA, 2021, p.11).

Visto com o “Petróleo do Futuro” a urgência pela implementação do mencionado Marco decorrente de uma demanda externa não pode ser analisada de forma isolada

12 Ibidem.

13 Ibidem.

ou meramente diplomática. Comprova-se o fato através das palavras mencionadas pelo Frederico Freitas, vice-secretário do Hidrogênio verde do Instituto Nacional de Energia Limpa (INEL) da seguinte maneira:

O Brasil está sendo procurado por uma questão de abundância de recursos naturais. Nós temos abundância de sol, de vento e de água e são recursos indispensáveis para a produção de hidrogênio. Estrategicamente, o Brasil tem uma posição geográfica muito favorável a produção de energias renováveis e as empresas que estão interessadas em utilizar o hidrogênio estão sofrendo uma grande pressão para **descarbonizar** [grifo nosso] as suas operações¹⁴.

Dentre as empresas o estudo informa o caso da montadora *Toyota*. Por sua vez, a montadora japonesa efetua testes aqui no Brasil para o lançamento de um automóvel movido a hidrogênio. No entanto, dentre as etapas de construção do novo automóvel a conversão do etanol para o supracitado gás é uma condição indispensável para o sucesso. É importante lembrar que o automóvel elétrico impulsionado por baterias, no longo prazo a substituição desses componentes é inevitável. Certamente um único automóvel não compromete o meio ambiente, porém milhares deles é outro contexto. O agronegócio brasileiro não fica de fora, pois o segmento observa atentamente os avanços das P&D e dos debates, por exemplo meio acadêmico e da política enfatizando a relevância do hidrogênio verde como uma nova mercadoria energética interligada com a oportunidade em auferir bons lucros. Nesse fio condutor a exploração dos fertilizantes a base de hidrogênio verde é um caso a ser citado, pois além de corroborar na redução de dependência externa, reduzir com bastante expressividade a pegada de carbono¹⁵.

O Executivo Federal caminha na mesma direção. Durante o Fórum Empresarial Brasil-Espanha realizada em Madri, no dia 25/04/2023 o presidente Luiz Inácio Lula da Silva relatou diante de empresários naquele recinto que o Brasil tem interesse em atrair novos investimentos, em especial os interligados as energias renováveis como é o caso do hidrogênio verde. O Portal Diplomacia *Business* relatou trechos da fala do Presidente Lula onde o mesmo aludiu que o Brasil voltou ao cenário internacional com estabilidade política, econômica e social, além de previsibilidade jurídica com o fortalecimento de marcos regulatórios¹⁶.

De posse de um marco regulatório, o Ceará por meio do Porto de Pecém situado no município de São Gonçalo do Amarante entra com força no cenário internacional ao abastecer indústrias e domicílios com o hidrogênio verde aqui produzido. Milhares de

¹⁴ Maiores informações ver Jornal da Cultura. Congresso Discute Construção de Marco Regulatório para Incentivar Produção de Hidrogênio Verde, 2023. Disponível em: <<https://youtu.be/XmS3nccBijg>>. Acesso: 09 mai. 2023.

¹⁵ Idem.

¹⁶ Maiores informações ver Diplomacia Business. **Em Madri, Lula participa do Fórum Empresarial Brasil – Espanha**, 2023. Disponível em: <<https://www.diplomaciabusiness.com/em-madri-lula-participa-do-forum-empresarial-brasil-espanha/>>. Acesso: 09 mai. 2023.

famílias vão demandar o gás devido a duas variáveis que impactam diretamente na qualidade de vida e bem-estar: a primeira diz respeito à função térmica. Em outras palavras, o uso do gás como meio de amenizar o desconforto provocado pelas baixas temperaturas durante a estação do frio. Segunda, a operacionalidade do gás como um veículo responsável pela geração de eletricidade com seus múltiplos usos domésticos.

Discutir a construção de um marco regulatório além dos dispositivos jurídicos voltados à produção do combustível, o poder público ao exercer o papel de protagonista na condução do “Petróleo do Futuro” deve necessariamente “[...] provocar o impulsionamento da demanda do hidrogênio. Fomentar uma demanda e colocar essa demanda no mercado para que a indústria consiga se desenvolver”¹⁷.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escrita desenvolvida por meio de vasto levantamento bibliográfico informa que a exploração do hidrogênio verde em suas diversas etapas de construção posicionado a P&D a partir de recomendações advindas de pesquisadores do ramo da engenharia química, elétrica, das ciências sociais aplicadas, dentre outras, órgãos governamentais como o MME, INEL, poder público nas três esferas (municipal/estadual/federal) adicionado a presença do setor privado com seus volumosos investimentos interno/externo há fortes possibilidades de sucesso que o mesmo venha ao longo prazo reduzir drasticamente o efeito estufa.

Neste percurso, o hidrogênio ao assumir características de matriz energética limpa interligado ao processo físico-químico denominado de eletrólise (alcalina, SOE ou PEM), a sustentabilidade marca presença nessa nova roupagem, mesmo sem conter nenhuma expressão com elementos químicos do tipo O₂ ou H₂ configura uma peça – chave para empreendimentos com fins industriais ou domésticos. Evidente, que a expressão sustentabilidade não emergiu recentemente no bojo da sociedade de consumo deste novo século, todavia além de conter traços robustos do que vem a ser o “economicamente correto”, a expressão citada caminha de “mãos dadas” com a pluralidade de ideias, valores, tradições, costumes étnicos e morais.

Resgatar os adjetivos acima para o mundo do hidrogênio é dizer que o binômio produtores/consumidores vivenciam constantemente com instabilidades, desafios e ousadia. Sob a ótica dos produtores, essas três palavras possuem laços estreitos com o ambiente da macroeconomia, microeconomia, economia internacional e finanças. Ao isolar a palavra ousadia, pode-se dizer que é uma característica primordial para o empresário inovador e

17 Frederico Freitas, Vice-Secretário de Hidrogênio verde do INEL em matéria exibida pelo Jornal da Cultura em 30/04/2023. Congresso Discute Construção de Marco Regulatório para Incentivar Produção de Hidrogênio Verde, 2023. Disponível em: <<https://youtu.be/XmS3nccBijg>>. Acesso: 09 mai. 2023.

que almeja obter bons indicadores de rentabilidade econômico-financeira. Vale destacar que nesse cenário a variável preço não pode ser descartada. Ademais, direcionar a variável para uma análise de curto prazo, o empreendimento pode operar suas atividades em sua plenitude em cenário marcado pelo prejuízo (preço menor que o custo total de produção). Por outro lado, na temporalidade de longo prazo não.

O armazenamento para o hidrogênio, também são as mesmas pegadas para tantos outros empreendimentos. O empreendedor observa os custos e receitas, conseguindo informações coletadas em seu banco de dados construídos por um corpo de funcionários capacitados para tal função. De posse dessas informações, o empreendedor isolado ou em conjunto com a diretoria, delibera quantidades a serem armazenadas. Sendo assim, o estudo revela que o armazenamento do hidrogênio verde é perfeitamente viável, principalmente se forem oriundas de fontes energéticas, oriundas do sol ou dos ventos. Assim, o Ceará com a sua luminosidade excessiva durante a maior parte do ano, somada com os seus parques eólicos do tipo *offshore* facilmente encontrados em toda a faixa litorânea e o complexo portuário do Pecém corrobora significativamente para a sucesso da exploração do “petróleo do futuro” em escala exponencial. Vale assinalar que a distribuição do hidrogênio verde depende da existência de uma infraestrutura ideal. Para isso faz necessário que pavimentação das rodovias estejam em perfeitas condições de uso, isto é, livre de buracos e com acostamentos adequados para automóveis e caminhões. Soma-se ao segmento a conclusão da Ferrovia Transnordestina, pois é sabido que a queima de litro de combustível em uma locomotiva é mais vantajosa economicamente do que a queima de um litro de combustível em um caminhão, independentemente de sua capacidade.

A implementação de um marco regulatório é consenso entre todos envolvidos diretamente ou indiretamente no empreendimento. No Brasil, o Executivo Federal vê a implementação do Marco com “bons olhos” pelas casas legislativas em caráter de urgência. Além disso, as transações comerciais do Brasil com o resto do mundo necessitam de um parecer jurídico a fim de efetivação de um contrato assinado pelas partes envolvidas. Contudo, independente de como seja a redação final do documento jurídico, a função social do contrato estará presente em sua plenitude.

Por fim, espera-se através desse estudo prévio com forte presença de ações dos setores público/privado corroborem diretamente para melhorar a qualidade de vida dos cearenses em sua totalidade tanto para as gerações presentes como das gerações futuras

REFERÊNCIAS

ALVES, L. R; BADDINI-MARTINEZ, J. BRONQUIOLITES In: Faresini SM, Santoro IL, Llarges CM, Perfeito JAJ. **Pneumologia**, 2 ed. 2014 Manolo, São Paulo, 503-15.

AMOS, Wade A. *Costs of storing and transporting hydrogen*. Golden, Colorado: NREL, nov. 1998. 216 p. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25106.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2022.

BALBUENA, Victor Alejandro Rivarola. **Caracterização de placa bipolar de eletrolisadores alcalinos para produção de hidrogênio**. 2021. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação) - Programa de Pós- Graduação Em Engenharia Elétrica E Computação, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná - Campus De Foz Do Iguaçu-, Foz do Iguaçu, 2021

BARBOSA, Harley Alves. **Processos de Produção e Estocagem de Hidrogênio: uma revisão da literatura**, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38768/1/ProcessosdeProducao_Barbosa_2020.pdf>. Acesso: 29 abr. 2023.

BAER, Werner. **A Economia Brasileira**. São Paulo: Nobel, 1996.

BARROSO, Amanda Maria Rodrigues et al. **Obtenção do Hidrogênio Verde a partir de energias renováveis**, 2022. Disponível em: <https://cet.edu.br/files/pages/95/artigo.pdf>. Acesso em: 30 de jun. 2022.

BEZERRA, Francisco Diniz. Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia. **Caderno Setorial ETENE**, ano 6, nº. 22, pp. 1-13, dez.2021.

BOCHENSKI, I. M. **A Filosofia Contemporânea Ocidental**. São Paulo: Herder, 1968.

BORGES, Ana Carolina Fernandes. **Hidrogênio verde: alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir com a transição energética**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/238476/borges_acf_tcc_rosa.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso: 26 abr. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Portaria nº 14, de 20 de dezembro de 1995**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/1995/portaria_14_benzeno_altera_nr_15.pdf>. Acesso: 19 abr. 2023.

_____. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Acordo e Legislação sobre o Benzeno 10 anos**. In: ARCURI, Arline Sydneia Abel; CARDOSO, Luiza Maria Nunes (Coord.). São Paulo: Fundacentro, 2005.

_____. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Orientação para Elaboração de Artigos Científicos**. 2ed. Rio de Janeiro: INTO, 2016.

_____. SENADO FEDERAL. **Constituição da República do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nºs 1/92 a 67/2010, pelo Decreto nº 186/2008 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão nºs 1 a 6/94** – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2016.

CARDOSO, André Filipe Silva. **Projeto Sistema de Produção Municipal de**

Hidrogênio Verde. Relatório de Projeto de Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios, 2022. Disponível em: <https://comun.rcaap.pt/bitstream/10400.26/40154/1/PM_Andr%c3%a9_Cardoso_Final.pdf>. Acesso: 18 mar. 2023.

CEARÁ. ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO (ASCOM). **Hidrogênio Verde:** em Roterdã, Governo do Ceará assina memorando que prevê investimento de 2 bilhões de dólares, 2021. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2021/10/27/hidrogenio-verde-em-roterda-governo-do-ceara-assina-memorando-que-preve-investimento-de-2-bilhoes-de-dolares/>>. Acesso: 20mar. 2023

_____. **ANUÁRIO DO CEARÁ 2022.** Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 2022-2023.

_____. VICE GOV. **Hub de H2V:** Governo do Ceará assina mais um Memorando de Entendimento para produção de Hidrogênio Verde, 2022. Disponível em: <<https://www.vicegov.ce.gov.br/2022/03/17/hub-de-h2v-governo-do-ceara-assina-mais-um-memorando-de-entendimento-para-producao-de-hidrogenio-verde/>>. Acesso: 20 mar. 2023
CARBON TRACKER. Clean Hydrogen's Place in the Energy Transition: Destined for dramatic growth if obstacles overcome, 2022. Disponível em: <<https://carbontracker.org/reports/clean-hydrogens-place-in-the-energy-transition/>>. Acesso: 06 mai.2023.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo.** São Paulo, 2021. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Tolueno.pdf> >. Acesso em: 5 jan. 2022

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Hidrogênio energético no Brasil:** subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

DN – DIÁRIO DO NORDESTE. **Número de tartarugas mortas em 2020 é o maior dos últimos três anos no Ceará, afirma instituto**, 2020. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/numero-de-tartarugas-mortas-em-2020-e-o-maior-dos-ultimos-tres-anos-no-ceara-afirma-instituto-1.2979902>>. Acesso: 17 abr.2023

_____. **Elmano se reúne com Alckmin, em Brasília, para tratar sobre base para hidrogênio verde**, 2023. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/pontopoder/elmano-se-reune-com-alckmin-em-brasilia-para-tratar-sobre-base-para-hidrogenio-verde-1.3361490>> Acesso: 25 abr. 2023.

FAYEMIWO, O., M., DARAMOLA, M., O., MOOTHI, K. *BTEX compounds in water – future trends and directions for water treatment.* *Water AS*, v.43, n.4, pp. 602-613, 2017.

FERNANDES, Gláucia et al. **Panorama dos desafios do hidrogênio verde no Brasil**, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/33175/opinia_o_artigo_hidrogenio_verde_matriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 06 mai. 2023.

FLYNN, T. M. *A liquification of gases. McGraw-Hill encyclopedia of science & technology*, v. 10, p. 106, 1992.

GAMBETTA, Francielle. **Análise Técnica e Econômica de Retificadores de Corrente para Produção de Hidrogênio Eletrolítico: Estudo de Caso Aproveitando a EVT da UHE de Itaipu**. 2010. 163f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Willan Zaccaro. **Elaboração de protocolo de testes para células a combustível Portáteis**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

HEINEN, Juliano. **Energia que dá gosto: regulação do hidrogênio verde no Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2022-nov-13/juliano-heinen-regulacao-hidrogenio-verde-brasil>>. Acesso: 20 mar. 2023.

HENDERSON, Hazel. **Além da Globalização: modelando uma Economia Global Sustentável**. São Paulo: Cultrix, 2007.

IEA - *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*. **Hidrogênio na América Latina: De oportunidades no curto prazo à implementação em larga escala**, 2019. Disponível em: <[IEA_HydrogeninLatinAmerica_ES_BrazilianPortuguese.pdf](#)>. Acesso: 20 mar. 2023.

KNOB, Daniel. **Geração de Hidrogênio por Eletrólise da Água Utilizando Energia Solar Fotovoltáica**. 2013. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

KREISS, Kathleen. *Occupational Causes of Constrictive Bronchiolitis. Curr Opin Allergy Clin Immunol*, v.13, pp.167-72, 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1991.

MANTOVANI, Paulo. **Hidrogênio verde: Brasil abre as portas para a energia do futuro**. Artigo. Disponível em: <<https://www.revistacobertura.com.br/noticias/artigos/hidrogenio-verde-brasil-abre-as-portas-para-a-energia-do-futuro/>>. Acesso em: 2 jan. 2023.

MILITÃO, Angeliete Garcez; RAFAELI, Elisa de Abreu. Neuropatia por Intoxicação Ocupacional. **Rev Ensaios Ergonomia**, v. 1, pp. 1-14, 2000.

MONTEIRO, Leonardo Martins Bastos. **Tecnologias de Produção de Hidrogênio Verde: estudo Energético e Viabilidade Econômica**, 2021. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/18322/1/DM_LeonardoMonteiro_2021_MEESEE.pdf>. Acesso: 26 abr. 2023.

MORAIS, Luanna Lima de. **O cenário do hidrogênio verde**: uma revisão como suporte ao recente interesse surgido em indústrias e governos na região. 2002. 71f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, 2002.

OLIVA JÚNIOR, José Roberto. Hidrogênio Verde, Perspectivas e Regulamentação no Brasil. Artigo. In: **Revista Brasil Alemanha**, edição outubro de 2021. Disponível em: <<https://www.ahkbrasilien.com.br/publicacoes/revista-brasilalemanha>>. Acesso: 28 dez. 2021.

PAIVA, Suelya da Silva Mendonça de. **Produção de Hidrogênio Verde Ambientalmente Sustentável**. 2022. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PALHARES, Dayana D’Arc de Fátima. **Produção de Hidrogênio por Eletrólise Alcalina da Água e Energia Solar**. 2016.101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PEREIRA, L., B., et al. *Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review*. Fuel, v. 310, 122301, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122301>

PERIN, Gismael Francisco. **Desempenho e Emissões de Motor Agrícola Ciclo Diesel Utilizando Diferentes Combustíveis**. 2014. 124.f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Ciências Médicas) – Programa de Pós – Graduação Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

RIBEIRO, Daniel. Combustíveis fósseis. **Revista de Ciência Elementar**, Casa das Ciências, v. 2, n. 2, p.1-2, 2014.

REI, Fernando Cardozo Fernandes; GONÇALVES, Alcindo Fernandes; SOUZA, Luciano Pereira de. Acordo de Paris: Reflexões e Desafios para o Regime Internacional de Mudanças Climáticas. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v.14, n.29, p.81-99, mai./ago. 2017.

SAMPAIO, Rômulo. **Direito Ambiental**, 2013. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/documentacao_e_divulgacao/doc_biblioteca/bibli_servicos_produtos/BibliotecaDigital/BibDigitalLivros/TodosOsLivros/Direito_ambiental_2013.pdf> Acesso: 22 mar. 2023.

SANTOS JR. Antonio Carlos Fonseca. **Análise da viabilidade econômica da produção de hidrogênio em usinas hidrelétricas**: estudo de caso em ITAIPU. 2004. 143f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico. 2 ed. São Paulo: Nova Cultura, 1985.

SILVA, Tiago Henrique Garcia da. **Pesquisa de Alterações Espirométricas, Radiológicas e Inflamatórias Pulmonares em Frentistas de Postos de Combustíveis**. 2021. 76.f. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

SOUSA, Accio Barbosa. **Estudo de um Eletrolisador Bipolar Alcalino Visando a Produção de H₂**. 2013. 118f. Tese. (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós - Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de. **Aproveitamento da Energia Hidroelétrica Secundária para Produção de Hidrogênio Eletrolítico**. 1998. 192f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

TELES, Glauciana Alves. Mobilidade da Força de Trabalho e Produção do Espaço: o Complexo Industrial e Portuário do Pecém na Região Metropolitana de Fortaleza. **Revista Pegada**, v.15, n.2, pp.115-136, 2014.

URSUA, Alfredo., GANDIA, Luis, M; SANCHIS, Pablo. *Hydrogen Production from Water Electrolysis: Current Status and Future Trends*. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. 2, pp. 410–426, 2012

VIEIRA, Padre Antônio. **Sertão Brabo**. São Paulo: Gráfica Editora Brasileira, 1968.

ZENG, Kai; ZHANG, Dongle. *Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications*. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 36, n. 3, pp. 307-326, 2010.

ZOULIAS, N. et al; *A Review on Water Electrolysis*, **TCJST** v.4, n2, pp. 41-71, 2004.