



DESENVOLVIMENTO DO MERCADO REGIONAL DO HIDROGÊNIO VERDE: PROPOSTA A PARTIR DA EXPERIÊNCIA DO GÁS NATURAL

EMILIA DALVA DO VALE CASANOVA – emiliadvcasanova@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN

SABRINA KARLA RODRIGUES DE OLIVEIRA - sabrinakroliveira@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN

LUANA PEREIRA NOGUEIRA - luanapereiranog@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN

MARIO ORESTES AGUIRRE GONZALEZ – mario.gonzalez@ufrn.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN

ÁREA: 9. EDUCAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: 9.1 - GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS E ENERGÉTICOS

RESUMO: O hidrogênio verde se tornou uma das prioridades na estratégia energética e climática de diversos países para a descarbonização da economia. Por oferecer muitas características atraentes dos hidrocarbonetos (assim como o gás natural) sem as emissões de dióxido de carbono associadas, o hidrogênio possui múltiplas aplicações e uso, dentre eles como combustível, vector energético, insumo para fertilizantes, dentre outros. Algumas regiões possuem grande potencial para se tornarem produtores do hidrogênio verde, como o caso do Brasil. O objetivo do artigo é identificar diretrizes e boas práticas para o desenvolvimento do mercado do hidrogênio verde a partir da pesquisa teórica e da experiência do mercado do gás natural no estado do Rio Grande do Norte. O procedimento metodológico ocorreu em três etapas: (i) pesquisa teórica sobre o mercado de hidrogênio verde e o desenvolvimento do mercado de gás natural no Brasil; (ii) realização de estudo de caso sobre o mercado de gás natural no estado do Rio Grande do Norte; e (iii) identificação de diretrizes e boas práticas para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde. Como resultado, são apresentadas 5 diretrizes que poderiam ser consideradas para o desenvolvimento regional ou estadual do hidrogênio verde e contribuir para a sustentabilidade do planeta.

PALAVRAS-CHAVES: HIDROGÊNIO VERDE; DESENVOLVIMENTO DE MERCADO; GÁS NATURAL.

1. INTRODUÇÃO

O Hidrogênio Verde (H_2V) se tornou uma das prioridades na estratégia energética e climática de diversos países, sobretudo, por prover um vetor alternativo de energia para setores de difíceis abatimento de emissões de carbono (*hard-to-abate sectors*) (BRASIL, 2022).

Por oferecer muitas características atraentes dos hidrocarbonetos - como queimar hidrogênio com oxigênio e liberar quantidades significativas de calor - sem as emissões de dióxido de carbono associadas, o hidrogênio poderia teoricamente ser usado como um substituto viável (ATKIN *et al.*, 2023).

A concretização do uso energético do hidrogênio como vetor ainda apresenta significativos desafios tecnológicos e de mercado ao longo de todo seu ciclo de vida, impondo a necessidade de um olhar estruturado (BRASIL, 2022). Porém, de acordo com Dejonghe *et al.* (2023), esses desafios podem ser mitigados quando se observa o mercado do gás natural devido a existência de sobreposição nas suas cadeias de valor.

Segundo o Hydrogen Council; McKinsey & Company (2022), a evolução do mercado global de gás e gás natural liquefeito (GNL) pode ter paralelos com o mercado global prospectivo de hidrogênio. A análise da evolução histórica do mercado do gás pode fornecer informações valiosas sobre as futuras relações e dependências comerciais do hidrogênio.

Segundo a BloombergNEF (2021), o Brasil pode se tornar líder na produção de H_2V mais barato antes de 2030. No entanto, a IEA (2022) estima que para o período de 2022-2027, há a necessidade de construção de 50 GW de capacidade de geração instalada de fontes renováveis dedicadas exclusivamente à produção de H_2V .

Dentro do contexto de transição energética, o Estado do Rio Grande do Norte (RN), localizado no nordeste do país, é protagonista na geração de energia elétrica limpa no Brasil. (ABEEOLICA, 2022). A atratividade do estado somente se restringe pela capacidade de escoamento da produção para os grandes centros consumidores (HEIN, 2024). Nessa perspectiva, o hidrogênio pode desempenhar um papel fundamental para a atração de indústrias que consomem grandes quantidades de hidrogênio e de energia renovável e barata.

Com esse cenário, o objetivo deste artigo é identificar os fatores que influenciam o desenvolvimento do mercado do H_2V a partir da experiência do mercado do gás natural no estado do RN.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Hidrogênio verde

O hidrogênio possui a maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido. No estado natural e sob condições normais, é um gás incolor, inodoro e insípido. Normalmente é combinado com outros elementos, como o oxigênio na água, o carbono no metano e nos demais compostos orgânicos e como é quimicamente muito ativo, raramente permanece puro (LEPECKI, 2011).

As características climáticas e geográficas do Brasil são ideais para a criação de uma infraestrutura baseada no hidrogênio, energias renováveis e células a combustível. É um país com abundância de água potável e de fontes energéticas renováveis, como o sol e vento e fácil acesso ao mar (GOMES NETO, 2005).

De acordo com a Irena (2020), países e regiões que possuem elevado potencial de fontes renováveis e baixo custo nivelado de eletricidade podem utilizar esses recursos estratégicos para se consolidarem como grandes produtores e exportadores de H_2V . No caso do RN, o potencial instalável de energia eólica é de 63,9 GW. Em relação ao potencial solar, estima-se que seria equivalente ao dobro de toda a geração de energia elétrica registrada no Estado em 2020, que foi de 17,8 TWh (ISI-ER, 2022).

O hidrogênio é um produto com grande versatilidade e possui diversas aplicações, uma delas é o Power-to-gas, ou seja, a injeção do H_2V na malha de dutos possui como finalidade o transporte por longas distâncias. Os sistemas de dutos especialmente projetados para este fim existem até agora apenas em âmbito regional, localizados sobretudo nos Estados Unidos e na Europa. Diante desse cenário, uma mistura de gás natural de modo a aproveitar a infraestrutura existente passa a ser considerada (TIMMERBERG; KALTSCHMITT, 2019).

2.2 Panorama nacional do hidrogênio verde

Em 2024, o Brasil deu um passo importante diante da concorrência internacional ao aprovar as leis nº 14.948 (Marco Legal do Hidrogênio de Baixo Carbono) e nº 14.990. Tais leis definem os diferentes tipos de hidrogênio, competências regulatórias, sistema de certificação e o regime especial para produtores (Rehidro). A lei nº 14.990 cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixo Carbono, um mecanismo de incentivos que prevê até R\$18,3 bilhões em créditos para a indústria do hidrogênio (ABIHV, 2024).

No contexto do RN, o Marco Legal e o Programa Norte-Rio-Grandense do Hidrogênio Verde e da Indústria Verde (PNRH2V) estão em fase de aprovação pelo poder legislativo (GOVERNO DO RN, 2024). Ademais, há dois projetos pilotos em fase de implantação: a primeira planta-piloto da Petrobras para geração de hidrogênio renovável na Usina Termelétrica

do Vale do Açu, em Alto do Rodrigues (PETROBRAS, 2024); e, a implantação de uma planta-piloto de produção de H₂V pela CPFL Renováveis utilizando energia renovável para alimentar um eletrolisador. O hidrogênio produzido será aplicado no processo produtivo da Fábrica Mizu Cimentos em Baraúna/RN (CPFL ENERGIA, 2024).

2.3 Mercado do gás natural do Brasil

O gás natural é uma fonte de energia não renovável composta majoritariamente por hidrocarbonetos leves e, em condições atmosféricas, apresenta-se no estado gasoso, com características físicas que variam conforme sua composição (REIS, 2018).

No Brasil, o gás natural pode ser classificado como associado quando dissolvido no petróleo ou sob forma de capa de gás, e não associado, quando livre de óleo, sendo que 89,4% do gás produzido no país é associado (ANP, 2024).

2.4 Infraestrutura da rede de gás e cadeia de valor

O transporte e a distribuição de gás natural configuram-se como uma “indústria de rede”, caracterizada por altos custos de implantação, baixos custos operacionais e ganhos de escala, sendo a ANP responsável pela regulação do transporte e os governos estaduais pela distribuição (BNDES, 2006). A cadeia do gás segue uma estrutura integrada composta pelo *upstream*, *midstream* e *downstream* (FGV ENERGIA, 2023).

No *upstream*, o gás é produzido, associado ou não ao petróleo, e escoado por dutos até as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), onde ocorre a retirada de contaminantes e hidrocarbonetos pesados, garantindo que o gás atenda às especificações regulatórias (FGV ENERGIA, 2023).

No *midstream*, estão incluídas atividades como movimentação, estocagem, liquefação e regaseificação de GNL. O transporte ocorre por gasodutos, navios ou caminhões (em GNL ou GNC), sendo a escolha do modal determinada pelo volume e distância. A rede de gasodutos interligada do Brasil possui cerca de 8,5 mil km, conectando o Rio Grande do Sul ao Ceará e outros estados, transportando mais de 90 milhões de m³/dia (BNDES, 2020).

No *downstream*, a distribuição começa nos “*city gates*”, onde se realiza a interconexão entre os gasodutos de transporte e de distribuição, com controle e redução de pressão, medição de volume, odorização e envio do gás ao consumidor final, seja industrial, termelétrico, veicular, comercial ou residencial (FGV ENERGIA, 2023).

2.5 Marcos regulatórios do mercado de Gás

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu o monopólio da União sobre as atividades de óleo e gás, cabendo aos estados a exploração ou concessão dos serviços locais de gás canalizado. A Petrobras exerceu esse monopólio até 1995, quando a Emenda Constitucional nº 9 permitiu a participação de empresas privadas no setor (DUTRA *et al.*, 2024).

A Lei do Gás de 2009 determinou aos estados a adequação de suas estruturas regulatórias, e permitiu a construção de gasodutos para uso dedicado caso a distribuidora se recusasse a investir. Entretanto, nos dez anos seguintes, a malha de transporte não se expandiu devido, enquanto os estados avançaram na expansão da rede de distribuição em regiões de maior mercado (DUTRA *et al.*, 2024).

Apesar das aberturas ocorridas, a Petrobras manteve posição monopolista em toda a cadeia do gás natural. Em 2016, foi lançado o programa “Gás para Crescer” (GPC), visando criar um mercado competitivo de gás, enquanto a Resolução CNPE nº 10 estabeleceu diretrizes para atrair investimentos, aumentar a participação de agentes privados e introduzir competição no mercado. Nesse período, a Petrobras reorientou sua atuação, concentrando-se na exploração do pré-sal e permitindo maior participação privada no transporte e distribuição de gás (DUTRA *et al.*, 2024).

O Decreto nº 9.616/2018 promoveu medidas para destravar a expansão da malha de gasodutos, migração para o modelo de entrada e saída, acesso de terceiros às infraestruturas essenciais e articulação federativa para harmonização regulatória. (DUTRA *et al.*, 2024).

Em 2019, o Decreto nº 9.934 instituiu o Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás, com relatórios trimestrais de acompanhamento, e a Resolução CNPE nº 16 reforçou diretrizes para a promoção da concorrência. A Nova Lei do Gás (Lei nº 14.134/2021) representou um avanço para a liberalização do mercado, ao definir com mais precisão os segmentos da cadeia, garantir acesso não discriminatório às infraestruturas essenciais e reforçar a separação entre serviços de rede e comercialização, atribuindo à ANP a classificação técnica dos gasodutos de transporte, consolidando o caminho para um mercado de gás mais competitivo no Brasil (DUTRA *et al.*, 2024).

2.5.1 SEMELHANÇAS ENTRE GÁS NATURAL E HIDROGÊNIO VERDE

O gás natural tratado e desidratado é fracionado em correntes com diferentes composições de hidrocarbonetos. Cada hidrocarboneto extraído do gás natural pode ser usado como matéria-prima para várias indústrias. O vapor rico em metano é comumente conhecido

como gás natural, com várias aplicações em aquecimento, geração de eletricidade e diversas indústrias (YUSUF, 2023).

O hidrogênio desbloqueou a produção eficiente de e-combustíveis, como amônia, metanol e gás sintético, quando combinado com fontes renováveis. O hidrogênio também tem sido considerado uma alternativa atraente à gasolina e ao diesel no setor de transporte (ATKIN *et al.*, 2023).

A produção, exportação e transporte de Gás Natural Líquido (GNL) são negócios altamente técnicos, complexos e, por sua vez, caros. Nos primeiros anos da indústria de GNL, a nascente indústria de GNL adotou 'vendas lineares A-B de GNL', com petroleiros de GNL operando como 'dutos flutuantes', dedicados ao transporte direto de GNL de uma planta de liquefação para um terminal de regaseificação específico (ATKIN *et al.*, 2023).

Os custos das tecnologias verdes para a produção de H₂V (ou seja, hidrogênio livre de carbono produzido a partir de fontes renováveis) têm sido um fator limitante na implementação em larga escala do hidrogênio (YUSUF, 2023). O hidrogênio é tradicionalmente comprado e vendido por meio de contratos bilaterais entre fornecedor e consumidor para aplicações específicas e limitadas (ATKIN *et al.*, 2023).

3. MÉTODOS DA PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, por ter como finalidade gerar conhecimentos voltados à aplicação prática na solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui características exploratórias e descritivas. É exploratória por buscar compreender um tema ainda pouco investigado, como o mercado de H₂V no RN, gerando insights iniciais em um campo com escassa base empírica (GANGA, 2011). Simultaneamente, apresenta caráter descritivo, uma vez que registra e analisa fatos sem interferi-los, utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados, como entrevistas e análise documental, assumindo, em geral, a forma de levantamento (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A abordagem é qualitativa, tendo uma pesquisa com dados analisados de forma interpretativa, teórica e descritiva. No estudo foram utilizados os métodos de pesquisa bibliográfica e estudo de caso como estratégias complementares de coleta e análise de dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

O desenvolvimento metodológico ocorreu em três etapas: (i) levantamento bibliográfico sobre o mercado de hidrogênio verde e o desenvolvimento do mercado de gás natural no Brasil;

(ii) realização de estudo de caso sobre o mercado de gás natural no estado do RN; e (iii) identificação de diretrizes e boas práticas para o desenvolvimento do mercado de H₂V.

Foram utilizadas múltiplas fontes de informação no estudo de caso, incluindo: relatórios e documentos do mercado de gás natural do RN; regulamentação setorial e H₂V; informações disponíveis nos canais oficiais da distribuidora estadual; e, entrevistas com base em um questionário semiestruturado, com colaboradores da empresa.

Na etapa do estudo de caso, foi analisado o desenvolvimento do mercado de gás natural no RN por meio da empresa responsável pela distribuição de gás no estado. A escolha do caso baseou-se nos seguintes critérios: existência de empresa distribuidora de gás natural interessada em atuar no mercado de hidrogênio verde; localização em região com elevado potencial de produção de hidrogênio verde; competitividade regional no custo de produção do hidrogênio; e existência de legislação específica para o hidrogênio verde e a indústria verde no estado.

Por fim, com base nas análises bibliográficas e nas informações obtidas no estudo de caso, foi realizada a sistematização das diretrizes e boas práticas para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde, utilizando o Diagrama de Afinidade como ferramenta de análise qualitativa. Essa ferramenta permitiu categorizar e organizar um volume significativo de informações, identificando padrões e insights a partir de dados não estruturados, contribuindo para a consolidação do brainstorming da pesquisa (BROWN, 20210).

4. DESCRIÇÃO DO CASO

Para entender os fatores que podem moldar o mercado de hidrogênio verde no Rio Grande do Norte, um estudo de caso analisou a estrutura, modelo de negócio, infraestrutura e legislação do mercado de gás natural no estado. A escolha da única distribuidora de gás natural do RN para entrevistas se justifica pela sua atuação desde a compra da molécula à entrega final oferecendo uma visão abrangente e lições valiosas para o desenvolvimento do emergente mercado de hidrogênio verde.

4.1 Contexto para o início do mercado do gás natural no RN

O mercado de gás natural no Rio Grande do Norte, e no Brasil, nasceu para aproveitar os recursos nacionais, com a Petrobras como catalisador principal. A disponibilidade de gás no estado, a carência de outras fontes e a demanda industrial por energia mais competitiva impulsionaram a criação desse mercado, visando atrair e fortalecer indústrias com preços mais

vantajosos. A empresa de distribuição de gás do RN foi estabelecida por lei estadual em 1993, concedendo-lhe exclusividade na distribuição de gás canalizado.

Nos últimos cinco anos, o mercado de gás natural passou por uma transformação radical, superando as mudanças das décadas anteriores, impulsionadas por iniciativas como a Resolução CNPE nº 4/2019. Atualmente, a composição acionária da distribuidora do RN é de 51% do Estado e 49% da Norgás, uma empresa resultante da cisão da COMMIT GÁS, que adquiriu os ativos das distribuidoras do Nordeste e visa promover a concorrência no setor.

4.2 Modelo de negócio da distribuidora de gás no RN e sua evolução

4.2.1 COMPOSIÇÃO DO PREÇO

A missão da empresa de gás do Rio Grande do Norte é distribuir gás natural de forma sustentável, impulsionando o desenvolvimento do estado e atendendo a todas as partes interessadas. Sua remuneração é calculada pelos serviços de transporte e pelos investimentos em infraestrutura (tubulações e dutos) que se tornam ativos estaduais. Ela adquire e repassa o gás pelo mesmo preço, sem margem sobre a molécula.

A composição do preço final de venda inclui:

$$\text{Preço Final de Venda do Gás} = \text{Preço da Molécula} + \text{Custo de Transporte} + \text{Custos Adicionais} + \text{Margem da Distribuidora} + \text{Impostos}$$

- **Preço da Molécula:** É o custo do gás no ponto de entrega da empresa transportadora, já incluindo o preço do escoamento da Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) e o preço de entrada.
- **Custo de Transporte:** Inclui as tarifas de entrada e saída da empresa de transporte, anterior ao *city-gate*.
- **Custos Adicionais:** São taxas, por exemplo, quando há contratação de gás adicional para manter o equilíbrio do sistema devido a gargalos ou falta de gás, pela empresa de transporte. Esses custos são divididos entre os usuários.
- **Margem da Distribuidora:** Calculado pela Agência Reguladora do Rio Grande do Norte.
- **Impostos:** São adicionados ao preço final, e a forma de cálculo dos impostos pode variar dependendo do segmento (ex: segmento industrial possui um programa que diminui a carga tributária de ICMS de 18% para 12% através da redução da base de cálculo do tributo).

4.2.2 INCENTIVOS

Para impulsionar o consumo de Gás Natural Veicular (GNV), que representa mais de 50% do volume distribuído, a empresa de gás do RN tem a campanha “Vai no Gás”. Ela oferece um bônus que cobre integralmente os custos de instalação de kits GNV de 5ª e 6ª geração (cerca de R\$ 4.000,00), visando movimentar o mercado e reter clientes.

No segmento industrial, o segundo mais relevante, a empresa enfrenta uma queda no consumo devido à migração para biomassa. Para mitigar esse impacto, o Governo do RN lançou o Programa RN Mais Gás cujo objetivo é incentivar a industrialização do estado, oferecendo gás natural a preços subsidiados para empresas prioritárias. A iniciativa reduz a carga tributária do ICMS de 18% para 12% através da diminuição da base de cálculo, tornando o gás mais competitivo para indústrias locais, o que reduz custos de produção, aumenta a competitividade e atrai novos investimentos.

4.2.3 INFRAESTRUTURA DE DISTRIBUIÇÃO

Para a distribuidora de gás, o investimento em dutos e transporte é crucial. A empresa é remunerada pelos seus investimentos na expansão da rede, seguindo um cálculo regulatório que define o mínimo necessário para a manutenção de seus ganhos. A margem regulatória, estabelecida pelo Contrato de Concessão e pela agência reguladora estadual, considera a remuneração dos investimentos e a depreciação dos últimos 10 anos, despesas de custeio contratuais e ajustes de valores não obtidos no ano anterior.

O planejamento de investimentos em dutos é guiado pela capacidade de investimento, ferramentas regulatórias que vinculam o investimento à margem, a competitividade do gás frente a outras fontes de energia e a demanda comercial.

4.2.4 CONTRATO DE FORNECIMENTO DE GÁS

A abertura do mercado de gás no Brasil forçou a Petrobras a desinvestir em transporte e distribuição, quebrando seu monopólio. Diante dessas mudanças e do cenário local de petróleo e gás no Rio Grande do Norte, a distribuidora de gás do RN se tornou pioneira ao firmar contrato com a segunda maior exploradora de petróleo do estado.

Com a Lei Estadual nº 11.190/2022, a empresa passou a realizar chamadas públicas para aquisição de gás, promovendo a concorrência e contratando o fornecedor com as melhores condições comerciais. Atualmente, a distribuidora mantém contratos com múltiplos fornecedores para diluir riscos e assegurar o abastecimento, incluindo a Petrobras, representando uma garantia robusta em situações de emergência.

4.2.5 *STAKEHOLDERS*

Diversas entidades exercem influência crucial sobre as operações da empresa de distribuição de gás do Rio Grande do Norte. O Governo Federal, ao alterar legislações e promover leilões de blocos exploratórios de petróleo e gás, fomenta um mercado mais competitivo. O Governo Estadual, como sócio majoritário com 51% de participação, pode definir as estratégias da empresa e criar incentivos fiscais para estimular o consumo de gás no estado. Complementarmente, a Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Rio Grande do Norte (ARSEP) regula os preços e a margem de lucro, fiscaliza a qualidade do serviço e garante o equilíbrio financeiro da empresa, protegendo os consumidores.

4.3 Processo de desenvolvimento de novas aplicações ou clientes do gás

A expansão da infraestrutura e a busca por novas aplicações de gás em indústrias pela distribuidora são guiadas pela demanda de mercado, estratégias da empresa e regulações. O aumento do volume de gás distribuído é vital, pois dilui os custos para todos os consumidores, de residências a indústrias, tornando o gás mais acessível. O setor comercial desempenha um papel fundamental ao identificar áreas de crescimento e planejar a extensão dos dutos.

A distribuidora busca ativamente novas aplicações e usos para o gás natural, e está envolvida no comitê de desenvolvimento de hidrogênio verde do estado, visando estudar a utilização de seus gasodutos para o transporte desse novo combustível, reconhecendo o hidrogênio verde como parte do futuro energético. Embora a distribuição de hidrogênio exija estudos devido à sua alta volatilidade, a empresa demonstra grande interesse.

4.4 Expansão da infraestrutura de gás no estado

Para expandir sua atuação e tecnologia, a empresa de gás do Rio Grande do Norte explora a interiorização do gás via "dutos virtuais". Essa abordagem, que consiste no transporte de gás comprimido por caminhões e sua descompressão no destino, busca levar o combustível a cidades sem gasodutos, quebrando o ciclo de "sem gás, sem desenvolvimento" e abrindo portas para novos investimentos industriais no interior do estado.

Seguindo seu plano de expansão, a empresa concluiu a licitação para construir 54 quilômetros do gasoduto Gás Sal, conectando Mossoró a Areia Branca. Este investimento de R\$ 38 milhões é estratégico, visando impulsionar novas cadeias produtivas, como a do sal, que, combinada com o gás, pode atrair indústrias de fertilizantes e outros produtos, fomentando a industrialização do RN. Além disso, a empresa foca em mercados promissores, como a frota

pesada, com um projeto piloto em andamento para oferecer GNV a caminhões e ônibus, visando competitividade em relação ao diesel e benefícios ambientais.

4.5 Legislação do mercado do gás

Considerando que o contrato de concessão de distribuição de gás é regido desde a Constituição Federal, todas as legislações voltadas à regulação da atividade de petróleo e gás podem influenciar a empresa. A CF determinou a concessão e somente em 1993 que a lei que criou a empresa no RN foi promulgada. As demais legislações nacionais sobre a abertura do mercado também influenciaram a empresa.

A Lei nº 11.190, de 04 de julho de 2022 é a principal legislação estadual que trata do tema. A "Lei do Gás" no Rio Grande do Norte (RN) refere-se à legislação que estabelece as normas para a exploração dos serviços locais de gás canalizado no estado, incluindo a distribuição.

5. DIRETRIZES E BOAS PRÁTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DO HIDROGÊNIO VERDE

A partir das informações coletadas na pesquisa teórica e nas informações do estudo de caso, foram sistematizadas informações e identificadas as diretrizes e boas práticas para o desenvolvimento do mercado do hidrogênio verde, descritas a seguir:

1) Existência de um marco regulatório e participação governamental: A existência de um marco regulatório para o hidrogênio verde a nível regional é um potencial para o novo mercado de H₂. A participação majoritária do governo indica uma influência direta na estratégia da empresa de distribuição e na implementação de políticas públicas, como as regulatórias e de incentivo. Ações governamentais ou legislativas moldam o ambiente de negócios do gás natural e, por extensão, podem influenciar o mercado de hidrogênio verde.

2) Existência de recursos críticos: O reconhecimento internacional de que o Brasil poderá possuir o melhor preço de hidrogênio verde aponta que há disponibilidade de recurso energético, fator crítico nos custos do H₂V. O custo do H₂V é influenciado em quase 70% pelo custo da eletricidade de fonte renovável, devido a isso é considerado que o Brasil teria competitividade no menor custo de produção.

3) Disponibilidade de infraestrutura para produção, armazenamento, distribuição e transporte: O custo de construir ou adaptar dutos, estações de compressão/descompressão e armazenamento é uma barreira significativa para o hidrogênio verde. Para utilizar a rede de

distribuição existente, uma solução potencial é a possível utilização do *blend*. Além disso, um dos projetos pilotos que existem no Rio Grande do Norte é voltado à produção e utilização do *blend*. A existência de um projeto piloto reforça a ideia de que a mistura de gases é uma rota tecnológica em estudo, impactando a infraestrutura e a transição.

4) Existência de mercado consumidor: O investimento inicial para converter um veículo para GNV ou adquirir um veículo a H₂ pode ser uma barreira significativa, mesmo com incentivos. Para a indústria, o custo do gás (ou hidrogênio) em relação a outras fontes de energia (biomassa, coque de petróleo, eletricidade, diesel) é o fator mais crítico. Programas de incentivo e a campanhas comerciais é um exemplo direto de política que visa influenciar esse ponto. Indústrias podem buscar o gás para se alinhar a metas de sustentabilidade e reduzir emissões assim como o projeto piloto da CPFL Renováveis.

5) Experiência e mão de obra qualificada: A expertise operacional, logística e de relacionamento com clientes no mercado de gás natural é uma base sólida para qualquer mercado. A capacidade financeira da empresa distribuidora de gás de injetar capital em novos projetos, seja em gás natural ou futuramente em hidrogênio, e a sua visão estratégica de adaptar sua infraestrutura existente ou complementá-la para atender novas demandas ou novos mercados são ativos valiosos. Estes são ativos intangíveis valiosos que podem auxiliar o desenvolvimento do mercado de hidrogênio.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise do mercado de gás natural no Rio Grande do Norte, através da experiência da distribuidora de gás do RN, revela uma trajetória de adaptação e evolução impulsionada por fatores regulatórios, estratégicos e de mercado. Desde sua gênese até as recentes transformações que abriram o mercado a múltiplos supridores e exigiram flexibilidade na gestão do transporte, a distribuidora consolidou sua expertise em toda a cadeia de valor.

Como visto, o setor de gás natural passou por grandes reformas estruturais e regulatórias, passando de uma organização baseada em monopólio verticalmente integrado para um mercado competitivo. À medida que as reformas avançavam, foi necessário estabelecer regras para garantir o acesso dos novos agentes de forma não discriminatória e eficiente (DOS SANTOS, 2004). A participação governamental é essencial para manter um ambiente de mercado justo, seja com ações regulatórias ou incentivos fiscais.

A definição das diretrizes permite a identificação dos principais pilares que precisam ser abordados para o mercado de hidrogênio, desde os desafios técnicos e de infraestrutura do hidrogênio até a valorização da experiência atual com o gás natural e a importância das políticas regulatórias e comerciais. Atkin *et al.* (2023) consideram que embora o futuro do comércio de hidrogênio seja incerto, seu desenvolvimento pode ecoar o do gás natural, dadas suas semelhanças físicas e parte de suas aplicações.

Após a efetivação do marco legal do hidrogênio, é necessário analisar os próximos passos, principalmente com relação aos custos (e incentivos fiscais) para verificar a viabilidade do mercado de hidrogênio verde. É recomendável verificar os resultados dos projetos pilotos em curso no estado, pois os aspectos de transporte e substituição aos combustíveis fósseis são cruciais para o sucesso do hidrogênio verde.

O hidrogênio verde oferece ao Rio Grande do Norte e ao Brasil uma oportunidade estratégica de diversificar a matriz energética, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e suas oscilações de preço no mercado global. Produzido localmente a partir das abundantes fontes renováveis do estado, como solar e eólica, o hidrogênio verde pode fortalecer a segurança e autonomia energética da região. Além disso, o investimento em pesquisa e desenvolvimento nesse campo impulsiona a inovação tecnológica, gerando avanços na eficiência de eletrolisadores e em sistemas de armazenamento e transporte. A exploração de misturas de hidrogênio com gás natural em dutos existentes exemplifica esse potencial inovador, prometendo soluções disruptivas e o desenvolvimento de patentes que beneficiarão a academia e a indústria potiguar.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. **RN tem potencial eólico duas vezes maior que o estimado em 2003.** Abeeólica, 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/rn-tem-potencial-eolico-duas-vezes-maior-que-o-estimado-em-2003/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ABIHV – Associação Brasileira da Indústria do Hidrogênio Verde. **Competitividade do mercado brasileiro de H2V.** Abril, 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2024.** Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ATKIN et al. **Hydrogen market development: lessons from the LNG sector.** Journal of World Energy Law and Business, v. 16, 2023, p. 18–28.

BLOOMBERGNEF. **Hidrogênio “verde” deve superar o “azul” até 2030.** Bloomberg, 2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com.br/blog/hidrogenio-verde-deve-superar-o-azul-ate-2030/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil.** Rio de Janeiro, n. 24, p. 35-68, set. 2006.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Gás para o desenvolvimento.** Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Hidrogênio.** Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>. Acesso em: 07 jun. 2025.

BROWN, T. **Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CPFL ENERGIA. **CPFL Energia e Mizu Cimentos firmam parceria para investir em planta de hidrogênio verde no Rio Grande do Norte.** CPFL Energia, 23 ago. 2024. Disponível em: <https://www.grupocpfl.com.br/noticia/cpfl-energia-e-mizu-cimentos-firmam-parceria-para-investir-em-planta-de-hidrogenio-verde-no>. Acesso em: 05 jul. 2025.

DEJONGHE, M. et al. **From natural gas to hydrogen: Navigating import risks and dependencies in Northwest Europe.** Energy Research & Social Science, v. 106, 2023, p. 103301.

DOS SANTOS, A. T. **Desenvolvimento do mercado de gás natural no Brasil: lições da experiência internacional e papel do transporte e da estocagem subterrânea de gás natural.** 2024. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/37346/Amanda%20Tavares%20dos%20Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jul. 2025.

DUTRA, J. (org.) et al. **Acompanhamento do Processo de Abertura da Indústria do Gás Natural.** Rio de Janeiro: FGV CERI, 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Energia 2027.** Rio de Janeiro, 2017.

FGV ENERGIA. **Gás natural: uma nova fase institucional, regulatória e econômica.** Ano 9, n. 19, fev. 2023.

GANGA, R. M. D. de B. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um guia prático.** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2011.

GOMES NETO, E. H. **Hidrogênio, Evoluir sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível.** Brasil H2 Fuel Cell Energy. Curitiba, PR, 2005.

GOVERNO DO RN. **Marco Legal do Hidrogênio Verde é aprovado em comissão da Assembleia Legislativa.** Governo do RN, 17 abr. 2024. Disponível em:

<https://www.rn.gov.br/materia/marco-legal-do-hidrogenio-verde-e-aprovado-em-comissao-da-assembly-legislativa/>. Acesso em: 05 jul. 2025.

HEIN, Henrique. **RN responde por 53% dos cortes de geração de energia em 2024**. Canal Solar, 2024. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/rio-grande-do-norte-cortes-energia/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

HYDROGEN COUNCIL; MCKINSEY & COMPANY. **Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization**. 2022. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/10/Global-Hydrogen-Flows.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2025.

IEA – International Energy Agency. **Renewables 2022**. IEA, dez. 2022. Disponível: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>.

IRENA – International Renewable Energy Agency. **Green Hydrogen: A guide to policy making**. Abu Dhabi: IRENA, 2020. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_Green_hydrogen_policy_2020.pdf. Acesso em: 4 jan. 2025.

ISI-ER – Instituto Senai de Inovação – Energias Renováveis. **Atlas eólico e solar do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal: ISI-ER, 2022. Disponível em: <http://www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=298260&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=MAT%C9RIA>

LEPECKI, W. **A energia nuclear e a economia do hidrogênio**. INEE, 2011.

PETROBRAS. **PETROBRAS vai construir sua primeira planta para produção de hidrogênio renovável**. Agência Petrobras, 10 out. 2024. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/inovacao/petrobras-vai-construir-sua-primeira-planta-para-producao-de-hidrogenio-renovavel>. Acesso em: 05 jul. 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, H. L. S. et al. **Gás natural. Recursos minerais de Minas Gerais**. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), Belo Horizonte, 2018, p. 1-39. Acesso em: 15 jun. 2025.

TIMMERBERG, S.; KALTSCHMITT, M. **Hydrogen from renewables: Supply from North Africa to Central Europe as blend in existing pipelines–Potentials and costs**. Applied Energy, v. 237, p. 795-809, 2019.

YUSUF, N.; AL-ANSARI, T. **Current and Future Role of Natural Gas Supply Chains in the Transition to a Low-Carbon Hydrogen Economy: A Comprehensive Review on Integrated Natural Gas Supply Chain Optimisation Models**. Energies, v. 16, 2023, p. 7672. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16227672>. Acesso em: 05 jul. 2025.