

VERSÃO COMPLETA



Transição e Integração Energética no Rio



JUN. 2024

Ficha Catalográfica

F523t Firjan
Transição e integração energética no Rio / Firjan ... [et al.]. – Rio de Janeiro:
[s.n], 2024.
63 p. : il., color.

Inclui bibliografia

1. Energia – Fontes renováveis. 2. Energia alternativa. 3. Rio de Janeiro.
I. Firjan SENAI. II. Firjan SESI. III. ABEEólica. IV. ABH2. V. ANP. VI. EPE. VII. Prumo.
VIII. Rystad Energy. IX. Seenemar. X. Título.

CDD 333.7938



Presidente

Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira

1º Vice-Presidente Firjan

Luiz César Caetano

2º Vice-Presidente Firjan

Carlos Erane de Aguiar

1º Vice-Presidente CIRJ

Carlos Fernando Gross

2º Vice-Presidente CIRJ

Raul Eduardo David de Sanson

Presidente do Conselho Empresarial de Petróleo e Gás

Emiliano Fernandes

Diretor de Competitividade Industrial e Comunicação Corporativa

João Paulo Alcantara Gomes

Diretora de Gestão de Pessoas, Diversidade e Produtividade

Adriana Torres

Diretor Executivo Sesi SENAI

Alexandre dos Reis

Diretora de Compliance e Jurídico

Gisela Pimenta Gadelha

Diretora de Finanças e Serviços Corporativos

Luciana Costa M. de Sá

Diretor de Educação

Vinicius Cardoso

CONTEÚDO TÉCNICO

GERÊNCIA GERAL DE PETRÓLEO, GÁS, ENERGIAS E NAVAL

Gerente Geral de Petróleo, Gás, Energias e Naval

Karine Barbalho Fragoso de Sequeira

Gerente de Cenários

Fernando Luiz Ruschel Montera

Gerente de Projetos

Thiago Valejo Rodrigues

Coordenadora da Divisão de Relacionamento e Parcerias

Juliana de Castro Lattari

EQUIPE TÉCNICA

Ana Beatriz Lemos da Cunha

Bruna Duarte Teixeira Martins

Bruno Gonçalves

Carina de Souza Torres Faria

Emanuelle Ferreira de Lima

Felipe da Cunha Siqueira

Giovana Mattos Rodrigues

Iva Xavier da Silva

Luis Felipe Dutra de Menezes Kessler

Marcelli de Oliveira Tavares

Marcos Bernardes Mendes Ferreira

Maria Eduarda Jacinto de Miranda

Priscila de Amorim Ribeiro Felipe

Priscila Lima dos Santos Gomes

Savio Bueno Guimarães Souza

Wilson Koji Matsumoto

PROJETO GRÁFICO

GERÊNCIA GERAL DE REPUTAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Gerente Geral de Reputação e Comunicação

Karla de Melo

Gerente de Comunicação Corporativa e Eventos (interina)

Amanda Zarife

Gerente de Publicidade e Marca

Fernanda Marino

EQUIPE TÉCNICA

Caroline Wolguemuth

Danielle Pascoalino

Sharlyne Dias

JUN. 2024

www.firjan.com.br

Av. Graça Aranha, 1, 12º andar
Centro, Rio de Janeiro

COLABORADORES EXTERNOS

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias

Elbia Gannoum
Matheus Noronha
Riomar Merino Jorge
Juliana Lima

ABH2 – Associação Brasileira de Hidrogênio

Danielle Valois
Gabriel Lassery Rocha da Silva
Mariana Domingues Fernandes
Paulo Emílio V. de Miranda
Rômulo Cunha Lima

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Rodolfo Saboia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

Heloísa Borges Esteves
Thiago Prado

MME – Ministério de Minas e Energia

Pietro Adamo Sampaio Mendes
Marlon Arraes Jardim

Prefeitura de Macaé

Welberth Rezende

Prumo Logística

Mauro Andrade

Rystad Energy

Daniel Leppert
Muced Nassif

SEENEMAR – Secretaria Estadual de Energia e Economia do Mar

Hugo Leal

Sumário

LISTA DE SIGLAS	8
EDITORIAL	11
AGRADECIMENTOS	13
APRESENTAÇÃO	15
CENÁRIO DA TRANSIÇÃO E INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NO MUNDO	16
A mudança global do sistema energético: mais limpo e mais enxuto	17
CENÁRIO DA TRANSIÇÃO E INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL	20
O papel da regulação como facilitadora da transição energética	22
Desenvolvimento de novas fontes e o impacto no planejamento energético brasileiro	24
O futuro dos biocombustíveis no Brasil	26
CENÁRIO DA TRANSIÇÃO E INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NO RIO DE JANEIRO	28
Oportunidades e perspectivas para as eólicas <i>offshore</i> no estado do Rio de Janeiro	30
Potenciais de H ₂ no Rio e o H ₂ natural	42
A transição de Macaé na consolidação como capital da energia do Rio	48
Os desafios para a implementação do maior <i>hub</i> de integração energética do Brasil	50
Estímulo governamental à transição energética – Projeto piloto eólicas <i>offshore</i>	52
Rotas para descarbonização sustentável no Rio de Janeiro: transição entre fontes, integração e eficiência energética	56

Lista de siglas

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias

ABH2 – Associação Brasileira de Hidrogênio

ACV – Análise de Ciclo de Vida

Agenersa - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro

ApexBrasil – Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BTU – *British Thermal Unit*

CAPEX – *Capital expenditure*

CBIOs – Créditos de Descarbonização

CCS – *Carbon capture and storage*

CCUS – *Carbon capture, use and storage*

CDL – Companhia distribuidora local

CENPES – Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

CO₂ – Dióxido de carbono

CO_{2eq} – Dióxido de carbono equivalente

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia

COPPETEC – Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos

EJ – Exajoule

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ESMAP – *Energy Sector Management Assistance Program*

EUA – Estados Unidos da América

E&P – Exploração e produção

FeMASS - Faculdade Miguel Ângelo da Silva Santos

Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

FPSO – *Floating, production, storage and offloading*

FSRU – *Floating storage regasification unit*

GBA – *Global Biofuels Alliance*

GEE – Gases de efeito estufa

GNA – Gás Natural Açú

GNV – Gás natural veicular

GNL – Gás natural liquefeito

Gt – Gigatonelada

GT – Grupo de trabalho

GW – Gigawatt

GWEC – *Global Wind Energy Council*

H₂ – Hidrogênio

H2R – Hidrogênio Renovável

HBI – *Hot briquetted iron*

HHI – *Herfindal-Hirschman Index*

HVO – *Hydrotreated vegetable oil*

Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IEA – *International Energy Agency*

IFC – *International Finance Corporation*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

kg – Quilograma

km – Quilômetro

km² – Quilômetro quadrado

kt/ano – Quilotonelada por ano

LCOE – *Levelized Cost of Energy*

m – Metro

MDIC – Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

MJ – Megajoule

MME – Ministério de Minas e Energia

MOVER – Programa Nacional de Mobilidade Verde e Inovação

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

m/s – Metro por segundo

m³/dia – Metro cúbico por dia

NTS – Nova Transportadora do Sudeste S/A

NPK – Nitrogênio, fósforo e potássio

ONIP – Organização Nacional da Indústria do Petróleo

OPEX – *Operating expenses*

O&G – Óleo e gás

O&M – Operação e manutenção

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PD&I – Pesquisa, desenvolvimento e inovação

PEM – Plano Espacial Marinho

PGR – Programa de *Gas Release*

PL – Proposta de lei

PNE – Plano Nacional de Energia

PNF – Plano Nacional de Fertilizantes

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

PNPA – Programa Nacional de Produção e Uso do Etanol

PPI – Programa de Parcerias de Investimentos

P&D – Pesquisa e desenvolvimento

RenovaBio – Política Nacional de Biocombustíveis

REDUC – Refinaria Duque de Caxias

REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas

REPLAN – Refinaria de Paulínia

RPBC – Refinaria Presidente Bernardes

SAF – *Sustainable aviation fuel*

Seenemar – Secretaria de Energia e Economia do Mar

SIE – Sistema Integrado de Escoamento

SIN – Sistema Interligado Nacional

t – Tonelada

tep – Tonelada equivalente de petróleo

tCO₂ – Tonelada de dióxido de carbono

tCO₂/tep – Tonelada de dióxido de carbono por tonelada equivalente de petróleo

t/ano – Tonelada por ano

TAG – Transportadora Associada de Gás S.A.

TWh – Terawatt-hora

UEP – Unidade estacionária de produção

UFF – Universidade Federal Fluminense

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UPGN – Unidade de processamento de gás natural

US\$ – Dólar

US\$/kgH₂ – Dólar por quilograma de hidrogênio

US\$/MWh – Dólar por megawatt-hora

UTE – Usina termelétrica

WBG – *World Bank Group*

ZPE – Zonas de Processamento de Exportação

€ – Euro

£ – Libra esterlina

°C – Graus celsius

Editorial

Em nossa busca por agregar cada vez mais energia disponível ao mercado, pela necessidade de tornar acessível uma série de serviços e bens a um número cada vez maior de pessoas, temos manifestado historicamente preocupações antes pontuais, e hoje permanentes, com a eficiência: fazer mais com menos, com a adição de recursos cada vez mais limpos em média local e global e com a viabilidade de ganhos de escala por combinação de fontes. E nesta publicação, Transição e Integração Energética no Rio, reiteramos o compromisso com essa importante jornada.

A integração energética é uma das principais abordagens, complementar à pauta de transição energética, no enfrentamento dos desafios também postos da descarbonização da economia. A contribuição da integração está ligada aos ganhos com a capacidade de otimização da produção, distribuição e consumo de energia visando reduzir as emissões de GEE – gases de efeito estufa, recorrendo à multiplicidade de fontes renováveis e fósseis.

Além dos mecanismos de substituição de combustíveis e soluções de integração energética para corte nas emissões de GEE, há ganhos a partir da melhoria da produtividade pela implementação de novas tecnologias e mitigação das perdas no processo produtivo. Entre as soluções para descarbonização temos, assim, não apenas o viés de substituição de combustíveis – sempre presente nas pautas de transição – mas também a complementariedade entre fontes e a busca contínua pela eficiência energética.

No estado do Rio de Janeiro, rico em reservas de petróleo e gás, a compreensão e implementação desses fatores são fundamentais para definição do papel do governo estadual na contribuição aos esforços federais para atingimento das metas de redução das emissões. O Rio de Janeiro apresenta potencial significativo para se aliar no processo de diversificação da matriz energética do país, convergindo as mais diversas fontes, sejam elas fósseis, renováveis e até de origem nuclear.

Tal estratégia conjugada visa atender os quatro pilares da transição energia: sustentabilidade ambiental, segurança do fornecimento, acessibilidade de custos e justiça social. Mas é imprescindível termos lucidez sobre nossos diferenciais e nossas necessidades e oportunidades de desenvolvimento.

Esperamos oferecer, com esta publicação, boa abordagem que contribua para o que desejamos como futuro: uma economia forte e com energia de qualidade, competitiva e disponível.

Boa leitura!

Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira
Presidente da Firjan

Agradecimentos

A primeira edição do **Transição e Integração Energética no Rio** contou com colaborações de agentes chave na movimentação do mercado de energia, unindo novas energias e o mercado já consolidado. Com parcerias internas e externas, a **Firjan SENAI SESI** lança o documento que reúne as importantes contribuições acerca do processo vivenciado pelo mundo no cenário energético.

Explicitamos aqui nossos agradecimentos aos parceiros externos, que colaboraram de forma significativas para a publicação:

À **ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias**, pela atuação conjunta para o desenvolvimento da eólica *offshore*, de grande potencial no RJ.

À **ABH2 – Associação Brasileira de Hidrogênio**, pela parceria em prol do hidrogênio como fonte energética relevante no estado, promovendo integração com outras fontes na matriz fluminense.

À **ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, por mais uma vez agregar ao tema de grande relevância no meio regulatório, com a importância necessária a fase inicial do processo.

À **EPE – Empresa de Pesquisa Energética**, pela constante parceria nos temas desenvolvidos, agregando sua visão de grande relevância para o mercado em processo transitório.

Ao **MME – Ministério de Minas e Energia**, por agregar à discussão sua visão nacional sobre um setor de grande relevância no processo transitório da energia.

À **Prefeitura de Macaé**, por apresentar o exemplo da cidade como referência no cenário energético do RJ, integrando uma variedade de fontes.

À **Prumo Logística**, que, como grande player do mercado de energia no RJ, traz sua importante visão sobre o desenvolvimento do seu *hub* de integração energética.

À **Rystad**, por agregar a visão global da consultoria em mais uma parceria em prol do mercado de energia no Brasil.

À **SEENEMAR – Secretaria de Estado de Energia e Economia do Mar**, pelo contínuo esforço em parceria para o desenvolvimento de projetos de energia no estado, promovendo o desenvolvimento do mercado de energia com sua atuação.

Apresentação

A transição energética é um imperativo global que demanda a colaboração de múltiplas fontes de conhecimento e diversos atores para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente. No contexto fluminense, a integração de diferentes fontes e soluções energéticas é essencial para promover segurança, acessibilidade, sustentabilidade e justiça energética.

O Brasil possui uma matriz energética diversa que conta com mais de 47% de fontes renováveis de baixa emissão de gases de efeito estufa (EPE, 2023). Nesse cenário, o país se encontra muito mais próximo das metas de transição energética globais. Contando com diversas fontes energéticas como petróleo e gás, hidráulica, biomassa, eólica e solar, o Brasil apresenta uma integração sólida entre fontes energéticas, com potencial para ampliação.

Como *hub* energético, o Rio de Janeiro se destaca em meio à vocação tanto para fontes fósseis, como maior produtor de petróleo e gás do país quanto para o potencial em fontes de baixa emissão, com alto potencial e grande número de projetos em desenvolvimento para eólica *offshore*, solar fotovoltaica e hidrogênio.

Nesta publicação, foram reunidas contribuições de diversos atores chave para o processo transitório no mercado energético, destacando cenários e visões sobre o tema sob diferentes perspectivas.

A **Rystad** abordou o cenário mundial apontando a mudança global do sistema energético, enquanto a **EPE** destaca sua visão acerca das novas fontes e o planejamento energético no Brasil.

No cenário nacional, a **ANP** apresenta o papel da regulação como facilitadora do processo transitório, seguida pelo **MME**, destacando o importante setor dos biocombustíveis para a transição e integração energética. Em conjunto, a **Prumo Logística** agrega suas perspectivas na implantação do maior *hub* de integração energética do Brasil, no Porto do Açu, Rio de Janeiro.

Os destaques para o potencial do estado do Rio de Janeiro seguem pela **Petrobras**, que destaca os horizontes tecnológicos da descarbonização, através de seu projeto de armazenamento geológico no Rio de Janeiro. Em sequência, a **ABEEólica** pauta as oportunidades e perspectivas da eólica *offshore*, enquanto a **SEENEMAR** apresenta seus objetivos de estímulo à transição energética através do projeto piloto eólica *offshore*. Já o potencial de hidrogênio, produzido e natural, no Rio é destacado pela **ABH2**, seguido pela **Prefeitura de Macaé**, apresentando a consolidação da capital da energia no Rio.

Por fim, a **Firjan SENAI SESI** analisa as rotas para a descarbonização sustentável no Rio de Janeiro, considerando a transição entre fontes, integração e eficiência energética, destacando o estado como protagonista do cenário energético brasileiro.



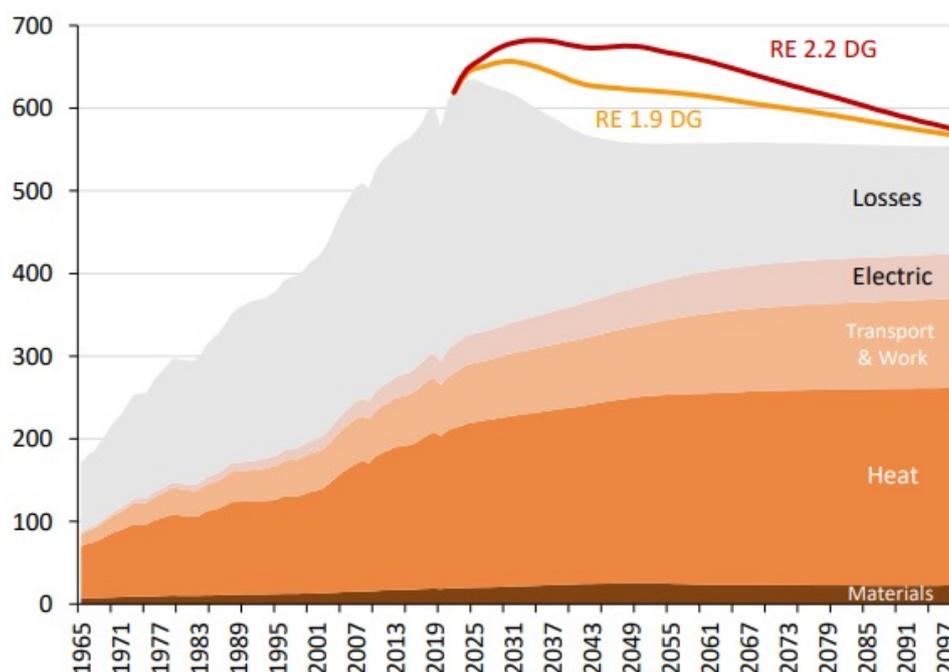
Cenário da
Transição
e Integração
Energética
no Mundo

A mudança global do sistema energético: mais limpo e mais enxuto

Elaborado pela Rystad

Há duas crenças comuns sobre o futuro da energia. Uma é que a energia primária continuará a crescer junto com a economia global, e a segunda é que será simplesmente muito caro substituir os combustíveis fósseis por energias renováveis. Ambas as crenças são amplamente difundidas, mas estão desatualizadas, concluindo erroneamente que os combustíveis fósseis continuarão a dominar por décadas, e que o aquecimento global não pode ser limitado a 1,5°C ou mesmo 2°C.

Gráfico 1 – Produção de energia primária no cenário 1.6 DG, por serviço energético (EJ)



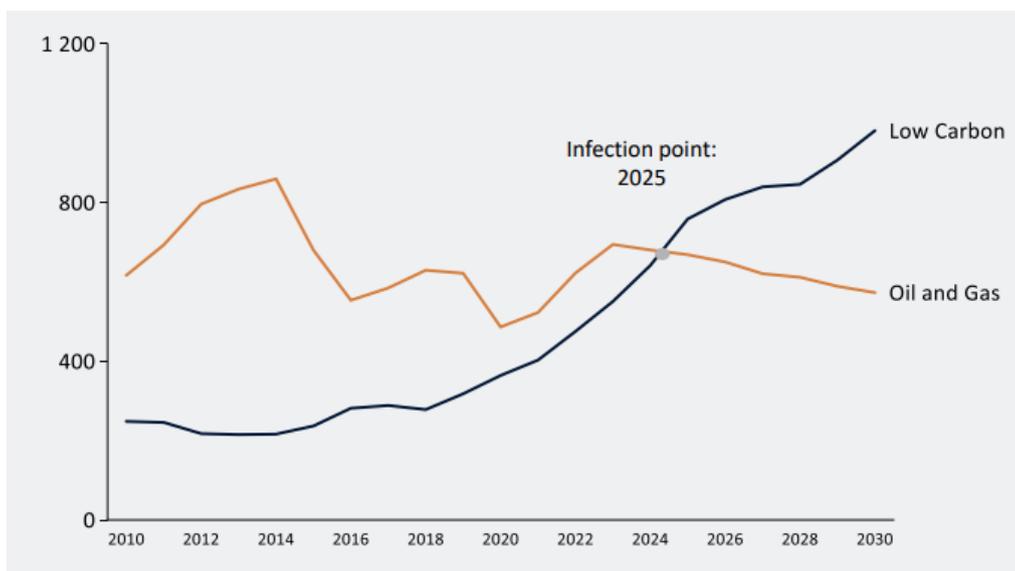
Fonte: Rystad Energy.

Neste relatório, documentaremos que essas crenças não têm apoio nos dados recentes sobre o desenvolvimento do sistema de energia. Pelo contrário, nossas observações mostram que novas tecnologias disruptivas já estão sendo implementadas em um ritmo que superará os combustíveis fósseis suficientemente rápido para limitar as emissões de CO₂ entre 650 Gt – gigatoneladas a 1.200 Gt, o que corresponde a cenários de aquecimento global de 1,6°C a 1,9°C, respectivamente, de acordo com os orçamentos de carbono do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Além disso, novas tecnologias para a redução de emissões de metano estão surgindo, representando uma redução adicional de até 0,2°C no aquecimento global evitado. Assim, a meta de 1,5°C está ao alcance.

Antes de tudo, deixe-me explicar por que a energia primária em breve atingirá seu pico em torno de 630 EJ e então diminuirá. Quando moléculas são queimadas para gerar eletricidade ou movimento, apenas 30-50% da energia química é convertida em energia útil. O restante representa perdas de calor para o ambiente. Com energia renovável como solar ou eólica, 70 a 90% da energia primária estão disponíveis para o usuário final, incluindo armazenamento e distribuição. O aumento do uso de bombas de calor na indústria e em edifícios também possibilita uma geração de calor muito mais eficiente do que os radiadores elétricos tradicionais. Assim, uma transição dos combustíveis fósseis para as energias renováveis significa uma revolução na eficiência energética. Dos 500 EJ de energia primária dos combustíveis fósseis hoje, apenas 250 EJ são utilizados pelo usuário final, enquanto cerca de 440 EJ estariam disponíveis se os 500 EJ de energia primária viessem de solar, eólica ou hidro.

Além disso, melhorias na eficiência energética em edifícios, eletrodomésticos e máquinas têm sido de 1% ao ano ao longo das últimas décadas, lideradas por melhores materiais e design. Essa tendência está acelerando agora. Os usuários finais estão obtendo cada vez mais serviços energéticos por MJ consumido. Assim, sob a suposição de que mais da metade da mistura de energia é renovável, uma população global de 10 bilhões de pessoas em 2055 terá acesso a mais serviços energéticos per capita do que hoje – mesmo que a produção de energia primária esteja reduzida em cerca de 10%.

Gráfico 2 – Investimentos em energia – petróleo e gás vs baixo carbono (bilhão US\$ – nominal)¹



Fonte: Rystad Energy.

Mas podemos acreditar na suposição de que uma parcela tão grande do consumo de energia primária será renovável? Isso não só exigirá que a geração atual de eletricidade de cerca de 29.000 TWh seja substituída por renováveis, mas também que a eletricidade tenha crescido o suficiente para eletrificar segmentos relevantes para o usuário final, como edifícios, transporte rodoviário e calor industrial e máquinas.

A resposta pode ser encontrada acompanhando cuidadosamente o ritmo de implantação de tecnologias que possam superar as tecnologias atuais baseadas em combustíveis fósseis e mitigar cerca de 38 Gt de emissões de CO₂. Na Rystad Energy, construímos uma organização voltada para fazer exatamente isso. Identificamos 12 tecnologias principais que poderiam fazer o trabalho, representando a diferença entre um aquecimento global de 2,5°C e um aquecimento global de 1,5°C.

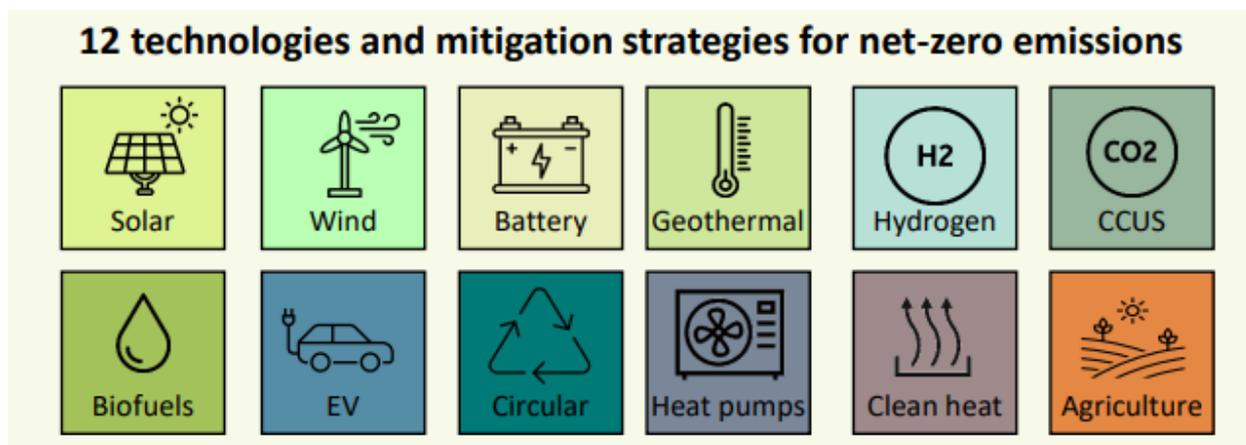
Mesmo que seja necessária uma combinação de tecnologias - sugerindo que nenhuma tecnologia pode fazer isso sozinha - podemos listar de forma simplificada a contribuição necessária para o aquecimento global evitado para cada uma das 12 tecnologias.

A energia solar fotovoltaica encabeça a lista, contribuindo com 0,25°C de aquecimento global evitado. A energia solar precisa crescer de 250 GW de novas instalações em 2023 para 1.300 GW por ano até meados dos anos 2030. Isso parece agressivo, no entanto, 1.200 GW de capacidade de fabricação nomeada já está em construção. Após a energia solar, outras três tecnologias são necessárias, cada uma contribuindo com 0,12°C de aquecimento global evitado. Isso inclui baterias, veículos elétricos e captura de carbono por absorção química. A energia eólica, a cadeia de hidrogênio e geotérmica/bombas de calor têm o potencial de reduzir o aquecimento global em 0,08°C, enquanto biocombustíveis, armazenamento de calor em alta temperatura, medidas de economia circular e mudanças nos processos agrícolas estão coletivamente preparados para entregar os restantes 0,15°C de aquecimento global evitado, incluindo reduções nas emissões de metano. Tudo isso deve acontecer até 2055 se o aquecimento global for limitado a 1,5°C. Neste relatório, mostraremos qual ritmo cada uma dessas tecnologias deve seguir

¹ Baixo carbono inclui solar, eólica, CCUS, hidrogênio, geotérmica, nuclear e hidrelétrica. Petróleo e gás abrangem *upstream*, *midstream* e *downstream*.

para alcançar a meta e qual ritmo pode ser observado hoje. Não vemos grandes obstáculos como escassez de materiais, mas iniciativas de suporte político como precificação de carbono e subsídios são essenciais para atingir o limite inferior da faixa.

Figura 1 - Toolbox ready for net-zero emissions



Fonte: Rystad Energy.

Finalmente, outra característica de um sistema de energia renovável baseado em elétrons e não em moléculas, é que 15 bilhões de toneladas de logística relacionada aos combustíveis fósseis podem ser evitadas, correspondendo a 45% do tráfego em toneladas no transporte marítimo. Além disso, as máquinas elétricas têm cinco vezes mais potência por kg; esse efeito também se aplicará a fundações e edifícios mais leves e mais magros. Assim, o futuro sistema de energia não apenas será mais limpo, mas também mais enxuto.





Cenário da Transição e Integração Energética no Brasil



Ao participar do Brasil Mais Produtivo, sua empresa terá acesso a:

- **Plataforma de Produtividade:** porta de entrada para as micro, pequenas e médias empresas industriais participarem do Brasil Mais Produtivo, disponibiliza cursos, materiais e ferramentas sobre produtividade e transformação digital;
- **Diagnóstico e Estratégia de Gestão;**
- **Otimização de Processos Industriais:** consultorias em Manufatura Enxuta ou em Eficiência Energética e cursos de aperfeiçoamento profissional;
- **Transformação Digital:** nova modalidade de consultoria para a empresa elaborar e implementar seu plano de transformação digital e modalidades de apoio ao desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias 4.0, para micro, pequenas e médias empresas industriais. (EM BREVE)

ACESSE E INSCREVA-SE

Os produtos oferecidos para as micro e pequenas empresas são gratuitos, realizados pelo Sebrae e executados pelo SENAI.



O papel da regulação como facilitadora da transição energética

Elaborado pela ANP

É crucial reconhecermos o papel fundamental que a regulação desempenha na facilitação da transição energética. Vivemos em uma época marcada por desafios ambientais urgentes e pela necessidade de reduzir nossa dependência dos combustíveis fósseis. Nesse contexto, os biocombustíveis emergem como uma alternativa promissora, e a regulação eficaz é essencial para impulsionar essa transição.

Os biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, têm ganhado destaque como fontes de energia mais limpas e renováveis. No Brasil, por exemplo, o PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – e o PNPA – Programa Nacional de Produção e Uso do Etanol – seguidos pelo Renovabio – Política Nacional de Biocombustíveis – têm desempenhado um papel significativo na promoção desses biocombustíveis. Em 2023, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial de etanol, com uma produção de mais de 30 bilhões de litros, e líder global na produção de biodiesel, com uma capacidade instalada de mais de 10 bilhões de litros por ano.

No entanto, para que os biocombustíveis atinjam todo o seu potencial como parte integrante da matriz energética, é necessário um ambiente regulatório sólido e previsível. A regulação desempenha diversos papéis-chave nesse contexto:

1. **Estímulo à inovação tecnológica:** a regulação pode incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis para a produção de biocombustíveis. Isso inclui o estabelecimento de padrões de qualidade, certificação e sustentabilidade que promovam a inovação na cadeia produtiva.
2. **Garantia da qualidade e segurança:** a regulação deve assegurar que os biocombustíveis atendam aos padrões de qualidade e segurança exigidos para sua produção, armazenamento, distribuição e uso. Isso não apenas protege os consumidores, mas também contribui para a confiabilidade e aceitação desses combustíveis no mercado.
3. **Promoção da competitividade e eficiência:** uma regulação transparente e equilibrada é essencial para garantir um ambiente de negócios justo e competitivo para os produtores de biocombustíveis. Isso inclui a implementação de políticas de incentivo, como créditos de descarbonização, de acordo com políticas públicas, que ajudem a nivelar o campo de jogo em relação aos combustíveis fósseis.
4. **Integração com políticas energéticas e ambientais:** a regulação dos biocombustíveis deve estar alinhada com as metas e políticas energéticas e ambientais mais amplas do país. Isso inclui a promoção da diversificação da matriz energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o cumprimento de compromissos internacionais, como o Acordo de Paris.

A regulação também desempenha papel fundamental na mitigação de potenciais impactos negativos associados à produção de biocombustíveis, como a competição com a produção de alimentos, o desmatamento e a perda de biodiversidade. É preciso que as políticas regulatórias de diferentes órgãos de governo incentivem práticas sustentáveis de produção, como o uso de terras degradadas e a adoção de técnicas agrícolas mais eficientes.

Outra área de grande potencial é a produção e o uso de hidrogênio como fonte de energia limpa - apesar de seu custo ainda muito elevado e dos desafios tecnológicos ainda não plenamente superados. O hidrogênio tem sido cada vez mais reconhecido como uma alternativa futura aos combustíveis fósseis. E a promoção do desenvolvimento do mercado de hidrogênio depende de uma regulação adequada que estabeleça padrões de qualidade, segurança e sustentabilidade para sua produção, armazenamento, transporte e uso.

O Brasil possui uma posição privilegiada para se tornar um líder global na produção de hidrogênio, dada sua abundância de recursos naturais renováveis e sua expertise na produção de biocombustíveis. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) está trabalhando em colaboração com outras agências governamentais, instituições de pesquisa e o setor privado para desenvolver políticas e regulamentos que incentivem o investimento em projetos de produção de hidrogênio e sua integração com outros setores, como transporte, indústria e geração de energia.

Também a própria indústria do petróleo e gás natural pode contribuir significativamente para a transição energética. Embora os combustíveis fósseis continuem sendo uma parte importante do *mix* energético global, é fundamental tornar sua produção e uso mais sustentáveis. A regulação desempenha um papel relevante nesse sentido, incentivando a adoção de práticas mais limpas e eficientes, como a redução de emissões de carbono, o aproveitamento de energia associada e o investimento em tecnologias de baixo carbono.

O gás natural é outro componente central durante o processo de transição energética. Trata-se de uma fonte de energia versátil e de transição, que pode substituir combustíveis mais poluentes, como o carvão, na geração de eletricidade e na alimentação de indústrias e processos industriais. Além disso, o gás natural pode ser utilizado como uma fonte de energia complementar para fontes intermitentes, como solar e eólica, ajudando a garantir a estabilidade do sistema elétrico. E, nesse contexto, a ANP vem trabalhando intensamente na reforma desse mercado para prover um quadro regulatório que estimule cada vez mais a competição, proporcionando o acesso de múltiplos agentes econômicos e a formação de preços competitivos que incentivem a produção e o uso desse energético.

Em outra vertente, a ANP está empenhada em aprimorar a captura de carbono no setor de petróleo. A regulação é essencial para promover a adoção de tecnologias de CCS – *carbon capture and storage* (captura e armazenamento de carbono) em instalações de produção de petróleo e gás, refinarias e demais empreendimentos industriais.

À medida que avançamos em direção a uma economia mais sustentável e resiliente, a regulação continuará desempenhando um papel central na facilitação da transição energética. Na ANP, estamos comprometidos em trabalhar em estreita colaboração com todas as partes interessadas para garantir que nossas políticas e regulamentos promovam um setor de biocombustíveis robusto e sustentável, contribuindo assim para um futuro mais limpo e próspero para todos.



Desenvolvimento de novas fontes e o impacto no planejamento energético brasileiro

Elaborado pela EPE

Historicamente, a abundância ou a escassez de recursos energéticos, bem como o seu uso, tem sido fatores motivadores para nações promoverem o planejamento energético em seus territórios. No caso brasileiro, da mesma forma, o planejamento do uso de seus recursos sempre foi tema recorrente, muitas vezes com enfoques distintos, mas sempre com o intuito do melhor uso do potencial energético nacional.

Entretanto, é interessante notar que analistas e especialistas nem sempre perceberam a importância desse componente estratégico da mesma maneira. Se na década de 1970, a questão era analisada sob um prisma de redução da vulnerabilidade de importações do Oriente Médio, atualmente, em um contexto em que a questão climática e energética está mais presente na pauta das nações e, à medida que os sistemas energéticos dos países buscam reduzir suas intensidades de carbono, torna-se evidente que os desdobramentos das estratégias de transição energética de cada país devem influenciar com maior relevância e magnitude o comércio e as relações internacionais, tanto entre países como entre empresas.

De fato, a questão energética atualmente está fortemente associada aos aspectos ambientais e ao desenvolvimento socioeconômico dos países, o que norteia grande parte das nações a incorporar essa temática na construção de uma estratégia energética. E essa estratégia deve compreender a promoção da eficiência no uso e na oferta de seus recursos, com intuito de reduzir os custos e os riscos ao fornecimento de energia em seus territórios, da mesma maneira que o aproveitamento de recursos renováveis com vistas ao desenvolvimento econômico e à preservação ambiental. Em um momento de transição energética mundial, o planejamento energético volta a ter papel extremamente importante para o Brasil, tanto para o alcance de sua estratégia energética quanto para a própria garantia da segurança nacional.

24

O Brasil, dadas suas características, apresenta como estratégia energética a busca pela promoção do melhor uso dos recursos energéticos nacionais, com vistas ao seu desenvolvimento sustentável de longo prazo. Essa estratégia considera como aspectos fundamentais: i) a mitigação das externalidades negativas decorrentes das mudanças climáticas e a preservação ambiental; ii) o princípio de que a energia é fator primordial para o desenvolvimento socioeconômico e a equidade; e iii) a necessidade de gerenciamento dos riscos de suprimento de energia e do conceito que o custo da energia é fator de inserção econômica internacional do país.

Os principais objetivos de política energética, estabelecidos por diferentes países, concentram-se em aspectos fortemente interdependentes: primeiro, as preocupações com a segurança de abastecimento, envolvendo a valorização de recursos energéticos nacionais e a universalização do acesso à energia; e, segundo, observa-se uma preocupação crescente com as questões inerentes à sustentabilidade ambiental, eficiência energética e novas tecnologias de produção e uso de energia.

Por conseguinte, a questão energética não deve ser vista apenas como uma questão de segurança nacional, mas como uma estratégia para garantir o bem-estar econômico e a própria estabilidade social e política das nações. Nesse sentido, o tema perpassa critérios de política pública, ao lidar com questões de natureza subjetiva acerca não só das condições objetivas de oferta de energia, mas também de avaliações subjetivas relacionadas ao grau de dependência e risco aceitáveis para cada nação. Assim, a formulação de uma política energética abarca um conjunto de questões transversais (como mudanças climáticas, transição energética, integração regional, geopolítica da energia) que ampliam os desafios a serem enfrentados, bem como recomendações que derivem dessas questões.

Um primeiro ponto de atenção em um contexto de transição, naturalmente, diz respeito à segurança energética: o Brasil deve gerenciar o nível de exposição a riscos em seu suprimento de energia.

De forma concomitante, a redução dos impactos ambientais também se constitui como um importante objetivo, por meio do alinhamento aos esforços de mitigação das externalidades negativas decorrentes das



mudanças climáticas. A questão da competitividade econômica é relevante no sentido de que não apenas o custo da energia é um fator de inserção econômica internacional do Brasil, mas a intensidade de carbono da economia cada vez mais se coloca como um fator promotor de competitividade das empresas brasileiras no mercado internacional. Por fim, evidencia-se a necessidade de garantir equidade e acesso à energia em uma sociedade em que a energia é fator fundamental: ao mesmo tempo que o desenvolvimento da sociedade brasileira demanda energia, a disponibilidade de energia propicia o desenvolvimento tecnológico, educacional, no setor de saúde, entre outros.

Pensar no futuro energético e planejar estrategicamente esse provir no Brasil são os objetivos do planejamento energético de longo prazo, realizado, no âmbito federal, pela Empresa de Pesquisa Energética, sob as orientações do Ministério de Minas e Energia. Os estudos de planejamento de longo prazo são a base para a formulação de políticas públicas, que têm rebatimento na estratégia nacional para expansão da oferta de energia com vistas ao atendimento da demanda. Nesse sentido, o planejamento de longo prazo do setor energético é instrumento fundamental para o país, na medida em que avalia tendências na produção e no uso da energia e baliza as estratégias alternativas para a expansão da oferta de energia nas próximas décadas. Ademais, evidencia-se como instrumento fundamental para a explicitação de custos e benefícios de medidas e políticas públicas.

O futuro dos biocombustíveis no Brasil

Elaborado por MME

Os biocombustíveis desempenham um papel estratégico crucial em um dos maiores desafios do século XXI, a transição energética. O Brasil, com sua vasta expertise no tema e grande diversidade de recursos naturais, está estrategicamente posicionado para liderar esse movimento global, colaborando para a redução da dependência de combustíveis fósseis, mitigação dos impactos negativos das mudanças climáticas e promoção da segurança energética.

Com investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, os biocombustíveis têm o potencial de impulsionar a inovação tecnológica e econômica, estimulando a criação de empregos e fortalecendo as cadeias produtivas locais. Portanto, seu papel estratégico na transição energética reside não apenas na redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também na promoção de uma economia mais resiliente e sustentável, em seus três pilares: social, ambiental e econômico.

Uma das principais políticas públicas voltadas para o setor de biocombustíveis no Brasil e que tende a transformar o futuro dos biocombustíveis no país é a Política Nacional de Biocombustíveis, o RenovaBio.

Instituído pela Lei nº 13.576/2017, o RenovaBio visa aumentar a produção de biocombustíveis no Brasil, promovendo a redução das emissões de carbono no setor de transportes. O programa é uma iniciativa que reconhece e valoriza a eficiência energética e ambiental dos biocombustíveis, por meio da emissão de Créditos de Descarboxinação (CBIOS). Esses créditos são negociáveis e representam uma maneira eficiente de compensar as emissões de carbono, incentivando os produtores a adotarem práticas mais sustentáveis. A política estabelece metas anuais de descarboxinação, o que proporciona previsibilidade e segurança aos investidores, fomentando a expansão do mercado de biocombustíveis no Brasil.

Outro pilar fundamental é o Programa Combustível do Futuro, delineado no Projeto de Lei nº 528/2020, aprovado pela Câmara dos Deputados e aguardando tramitação no Senado.

O Projeto de Lei é fruto das entregas dos Subcomitês Técnicos do Programa Combustível do Futuro, programa instituído pelo Conselho Nacional de Política Energética por meio da Resolução CNPE nº 7, de 20 de abril de 2021, com o objetivo de propor medidas para incrementar a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, bem como da tecnologia veicular nacional com vistas à descarboxinação da matriz energética de transporte nacional.

Com a aprovação do Projeto de Lei do combustível do futuro, serão integradas importantes políticas vigentes do setor automotivo, como o programa nacional de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), substituto do Rota 2030, e a Política Nacional de Biocombustíveis. A proposta é que as metas do setor automotivo, no âmbito do MOVER, levem em consideração as emissões dos energéticos utilizados na matriz de combustíveis, do poço à roda (como ocorre no RenovaBio), para que o consumidor receba a informação adequada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do PBE veicular e possa decidir corretamente. A ideia é, assim, não privilegiar nenhuma rota tecnológica e nenhuma tecnologia veicular. Todas as rotas tecnológicas de produção de combustíveis e todas as tecnologias veiculares poderão ser comparadas de forma justa e técnica: a partir da análise de ciclo de vida completa.

Além disso, com a aprovação do Projeto de Lei, o Brasil contará com um marco legal para a atividade de captura e estocagem de carbono, contribuindo para a descarboxinação em larga escala de diversos setores da economia. Contará ainda com importantes políticas públicas para incentivo da produção e uso de novos biocombustíveis, como os combustíveis sustentáveis de aviação, o diesel verde e os combustíveis sintéticos de baixo carbono.

Como se vê, a aprovação da Lei do Combustível do Futuro representa uma grande oportunidade para o Brasil marcar posição de virada na política ambiental, mantendo o protagonismo na agenda mundial de sustentabilidade e transição energética. Ademais, configura uma sinalização clara do país sobre seu comprometimento com a agenda altamente positiva tanto do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, a partir dos diferentes temas tratados no PL que convergem para a transição para uma economia de baixo carbono, como do ponto de vista econômico e social, a partir do desenvolvimento da indústria nacional, gerando emprego, renda e novas oportunidades para o Brasil à luz da pauta climática internacional.

O futuro dos biocombustíveis no Brasil está intimamente ligado ao sucesso dessas políticas públicas. A promoção de uma mobilidade sustentável com base em Análise de Ciclo de Vida (ACV), a captura e estocagem de carbono, a descarbonização do setor de aviação, a promoção de novos combustíveis de baixo carbono e a modernização do controle de emissões veiculares são estratégias que se somam às já renomadas políticas de biodiesel e etanol no país, formando, em conjunto, a base para uma transição energética eficiente e justa no Brasil.

A propósito, o reconhecimento do papel estratégico dos biocombustíveis para a transição energética justa e eficiente no Brasil pode servir como um exemplo inspirador para outros países em busca de soluções sustentáveis e inovadoras para seus desafios energéticos.

No Brasil, já utilizamos o percentual obrigatório de 14% de biodiesel (B14) em todo diesel comercializado no país. Na gasolina, esse percentual obrigatório é de 27% (E27), somado ainda ao etanol hidratado (E100) disponível ao consumidor em todos os postos revendedores.

Atualmente, todo o etanol produzido e utilizado como combustível na gasolina equivaleria a um percentual da ordem de 4,4% (E4,4), com elevado potencial para aumento. Caso esse percentual de etanol na gasolina em todo o mundo fosse elevado para 10% (E10), teríamos emissões evitadas de mais de 160 milhões de toneladas de carbono por ano, considerando o atual consumo de gasolina no mundo que é da ordem de 25 milhões de barris equivalentes de petróleo (bep) por dia em uma frota atual de cerca de 1,5 bilhões de veículos leves.

Com décadas de experiência no desenvolvimento de tecnologias de produção de biocombustíveis, como etanol e biodiesel, o Brasil possui conhecimento prático e teórico valioso para compartilhar e auxiliar o mundo na transição energética a partir dos biocombustíveis. Além disso, o país conta com uma vasta infraestrutura e uma cadeia produtiva consolidada, podendo ser grande fornecedor mundial e ainda servir de modelo para outras nações interessadas em adotar abordagens similares.

Ao fornecer biocombustíveis, compartilhar suas melhores práticas e colaborar em pesquisas conjuntas, o Brasil pode desempenhar um papel catalisador na aceleração da transição energética global para fontes renováveis, contribuindo assim para a mitigação das mudanças climáticas e o avanço em direção a um futuro mais sustentável.



12.2656

24.4613

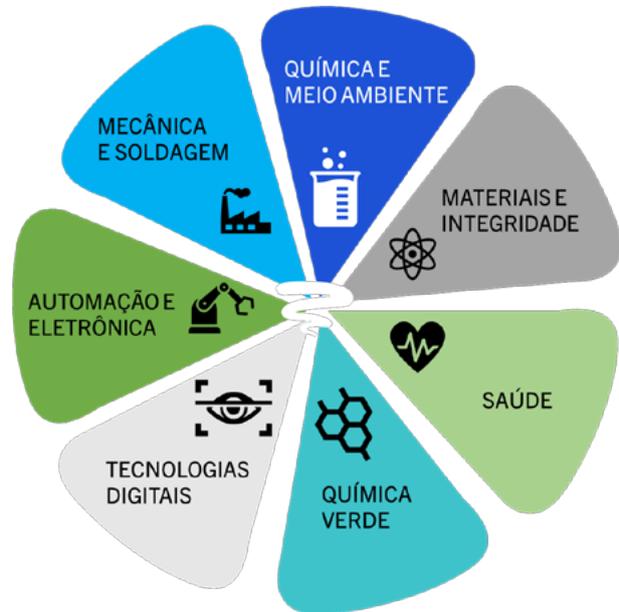
83.145

5.9781

28

Cenário da Transição e Integração Energética no Rio de Janeiro

Somos mais do que parceiros. Somos parte da solução para as indústrias do Rio.



Buscando o melhor uso energético com preceitos sustentáveis?

SUSTENTABILIDADE E ENERGIA



GESTÃO AMBIENTAL



QUALIDADE DO AR EXTERIOR



TECNOLOGIAS AMBIENTAIS



Para mais informações, acesse o QR code:



Oportunidades e perspectivas para as eólicas offshore no estado do Rio de Janeiro

Elaborado pela ABEEólica²

Contexto global de eólicas offshore

De acordo com o relatório da IRENA – *International Renewable Energy Agency*, as eólicas offshore terão papel central nas discussões climáticas para a descarbonização da matriz energética mundial, transformando de forma inovadora os sistemas elétricos e provendo uma maior diversificação da matriz elétrica, o que contribui para a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico. Devido a sua escala, a eólica offshore representa uma fornecedora natural de energia elétrica para a produção de hidrogênio verde.

A implementação de energia eólica offshore traz uma série de benefícios para os países que a adotam, destacando-se:

- Geração de empregos e desenvolvimento econômico: Os parques eólicos offshore são grandes propulsores de emprego e desenvolvimento econômico. Desde a fase de construção até a operação e manutenção, esses projetos geram uma quantidade significativa de empregos em diversos setores, incluindo construção civil, engenharia, e fabricação de equipamentos. Indústrias como a naval, a portuária e a siderúrgica também se beneficiam diretamente, além dos serviços relacionados a essas áreas.
- Energia limpa e renovável: A energia eólica offshore desempenha um papel crucial na redução de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. Como uma fonte de energia limpa e sustentável, ela se destaca por não emitir poluentes atmosféricos e por ser totalmente renovável.
- Segurança energética: Incorporar a energia eólica offshore na matriz energética dos países promove uma maior segurança energética, uma vez que diversifica as fontes de energia utilizadas, e reduz a dependência de combustíveis fósseis e importações energéticas.
- Tecnologia e inovação: A implementação de projetos de energia eólica offshore fomenta avanços tecnológicos e inovações, particularmente no desenvolvimento de turbinas eólicas, fundações marítimas e sistemas avançados de transmissão e monitoramento. Essas inovações contribuem para melhorar a eficiência energética e a competitividade industrial do país.
- Aproveitamento de recursos naturais: A energia eólica offshore aproveita de forma eficaz os recursos naturais disponíveis, especialmente os ventos no mar, que possuem maior constância e velocidade do que os ventos em terra. Isso permite uma geração de energia mais estável e abundante.
- Turismo e preservação ambiental: A energia eólica offshore pode também favorecer o turismo sustentável e a preservação ambiental. A localização das turbinas no mar minimiza o impacto visual e físico em áreas terrestres, contribuindo para a proteção de ecossistemas sensíveis e promovendo uma coexistência harmoniosa entre a produção energética e o meio ambiente.
- Sinergias com a indústria de óleo e gás: A indústria de energia eólica offshore beneficia-se enormemente da experiência acumulada pela indústria de óleo e gás, especialmente em técnicas de instalação em águas profundas. A infraestrutura portuária existente e o conhecimento técnico em operações marítimas são essenciais para suportar a instalação e operação de parques eólicos offshore. A colaboração entre esses setores pode maximizar a eficiência dos projetos, utilizando sinergias em áreas como design de fundações, fabricação, construção e instalação offshore, bem como na operação de embarcações e O&M – operação e manutenção submarina, assegurando uma transição para energias mais limpas e uma redução da dependência de petróleo.

² Autores: Elbia Gannoum, Matheus Noronha, Riomar Merino e Juliana Lima.

O relatório *Global Wind Report 2024*, do GWEC - *Global Wind Energy Council*, destaca o crescimento vertiginoso da energia eólica *offshore* no decorrer da última década. De acordo com o documento, o ano de 2023 registrou uma capacidade instalada total de 75 GW, consolidando ainda mais o papel dessa fonte de energia como uma componente vital na matriz energética mundial.

Adicionalmente, a nova capacidade instalada de energia eólica *offshore* atingiu um total de 10,8 GW ao final do ano de 2023, o que é 24% maior que em 2022, que registrou 8,8 novos entrantes, representando o segundo melhor ano em termos de novas instalações de energia eólica *offshore* a nível mundial. Esse resultado aponta para uma recuperação do setor após o impacto da pandemia, conforme indicado pelo GWEC, que espera que o mercado global de energia eólica *offshore* continue a crescer em ritmo acelerado, como pode ser visto no gráfico de projeção de nova capacidade total instalada nos próximos cinco anos.

O ano de 2021 permanece no posto de maior instalação de nova capacidade eólica *offshore*, com impressionantes 21,1 GW, apesar das adversidades econômicas impostas pela pandemia de COVID-19. Esse ano foi caracterizado não apenas por uma recessão global, mas também por uma conjuntura desafiadora que afetou significativamente o mercado energético mundial. A redução observada nas instalações no ano seguinte, em 2022, pode ser atribuída à retração das contratações durante os períodos mais críticos da pandemia, assim como a uma reorientação nos planos de infraestrutura do governo chinês, que tem sido um líder proeminente no impulso global para o desenvolvimento da tecnologia de energia eólica *offshore*.

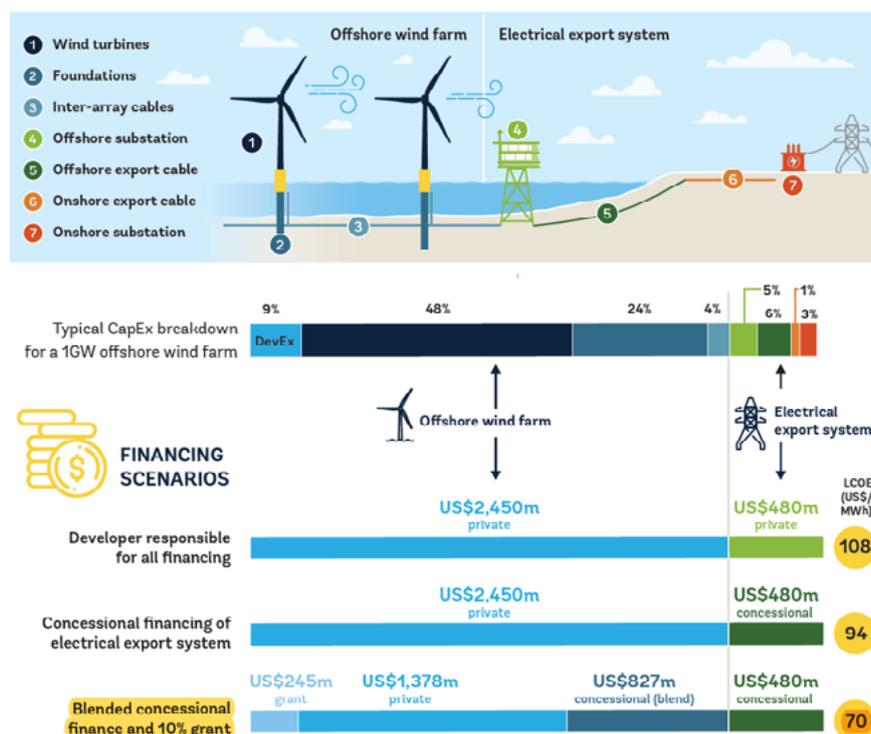
Entre os dez países que possuem maior capacidade instalada, estão: China (37,78 GW), Reino Unido (14,75 GW), Alemanha (8,31 GW), Holanda (4,76 GW), Dinamarca (2,65 GW), Bélgica (2,26 GW), Taiwan (2,10 GW), Vietnã (0,87 GW), França (0,84 GW). É relevante mencionar que o avanço da tecnologia nos demais países acompanha o desenvolvimento regulatório de cada país, bem como a realização de leilões de cessão de uso do mar com as regulações vigentes.

Nesse mesmo relatório, o GWEC apresenta uma projeção para novas instalações da fonte eólica para os próximos cinco anos, na qual a eólica *offshore* alcança o total de 37 GW de nova capacidade em 2028. Nessas projeções, o GWEC representa a visão da indústria sobre as instalações esperadas de nova capacidade para os próximos cinco anos, baseada em informações de associações regionais de energia eólica, metas governamentais, resultados de licitações, planos de leilões anunciados, projetos disponíveis no *pipeline* e contribuições de especialistas do setor e membros do GWEC.

O relatório "*Future of Wind – Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*", da IRENA, apresentou cenários em que as fontes eólicas e solar representarão 70% do abastecimento energético até 2050. Nesses cenários, as eólicas *offshore* terão papel central nas discussões climáticas para a descarbonização da matriz energética mundial, transformando de forma inovadora os sistemas elétricos, contribuindo para a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico e fornecendo grandes volumes de energia elétrica para a produção de hidrogênio verde. No mesmo documento, a IRENA prevê mais de 2.000 GW de capacidade instalada de eólica *offshore* até 2050, considerando um cenário de redução de 1,5°C.

Para viabilizar a contribuição dos países emergentes, como o Brasil, no aumento da participação da fonte eólica *offshore* no *mix* energético mundial, o Banco Mundial propõe uma solução mitigatória (Figura 1) para a implementação dos primeiros projetos de eólica *offshore* nesses mercados emergentes, por meio de financiamento concessional, proveniente dos setores público e privado. Como resultado dessa proposta, a eólica *offshore* poderia ser viabilizada a um LCOE - *levelized cost of energy* (custo nivelado de energia) de 70 US\$/MWh, podendo se tornar competitiva em relação à térmica convencional a gás no longo prazo.

Figura 1 - Viabilizando os primeiros projetos em países emergentes.



Fonte: WBG - World Bank Group / ESMAP - Energy Sector Management Assistance Program / IFC - International Finance Corporation.

Apesar da redução de custos observada nos últimos anos, a energia eólica *offshore* ainda não é competitiva, assim como a energia eólica *onshore* em seus estágios iniciais de desenvolvimento. No entanto, à medida que houve um aumento de escala e maior competição, ocorreu uma significativa redução de custos da energia eólica *onshore*. O mesmo aconteceu com a energia solar.

De acordo com o relatório anual de 2022 do GWEC, espera-se que a energia eólica *offshore* siga essa mesma tendência. O LCOE da tecnologia de fundações fixas para energia eólica *offshore* deverá apresentar uma redução de custos de 35-49% no período de 2035-2050. Já a tecnologia de fundações flutuantes deverá ter uma redução de custos de 17-40% nesse mesmo período. Essa redução será impulsionada por inovações tecnológicas, custos de capital, design de projetos, CAPEX - *capital expenditure* (fator de capacidade e otimização do custo de investimento inicial). Dados mais recentes do GWEC indicam que a média global do LCOE da energia eólica *offshore* já reduziu mais de 65% nos últimos dez anos.

Estimativas do Cornwall Insight (2019) no Reino Unido demonstravam que o LCOE da energia eólica *offshore* poderia se igualar com a energia *onshore* apenas em 2028. Todavia, o crescimento atual e acelerado da tecnologia das eólicas *offshore* já apresentou, nos leilões de 2023, um valor de £ 37/MWh, ao passo que a tecnologia *onshore* foi comercializada por £ 42/MWh, registrando um histórico de competitividade tecnológica e maturidade da fonte no país e no mundo.

No primeiro semestre de 2023, de acordo com informações da Bloomberg News, a França realizou um leilão governamental no primeiro semestre de 2023, no qual comercializou a energia eólica *offshore* a um valor de € 45/MWh.

Destaca-se que os valores vigentes previstos nos principais documentos debatidos atualmente são: US\$ 52 - 88/MWh (EPE); US\$ 81/MWh (IRENA); e US\$ 65/MWh (COPPE-UFRJ/Essen/ABEEólica). Os valores apresentados são estimativas realizadas com base em modelagens. Como pode ser visto nos parágrafos acima, esses valores já foram superados em termos tecnológicos nos países com um ambiente regulatório já estruturado.

A energia eólica *offshore* está, portanto, em uma trajetória de redução de custos e deve se tornar uma das fontes com maior potencial econômico do planeta.

O Brasil e as eólicas offshore

O Brasil possui um grande potencial para o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, com cerca de 700 GW de potencial estimados e fator de capacidade acima de 52% em áreas costeiras de até 50 metros de profundidade, de acordo com o *Roadmap* de Eólicas *Offshore* publicado pela EPE - Empresa de Pesquisa Energética, que destaca estados como Rio de Janeiro e Espírito Santo, além de outros situados na região Nordeste e Sul do país, como promissores para avançar nessa tecnologia.

O país também conta com 37 complexos portuários com características cruciais para viabilizar a implementação de parques eólicos *offshore*, embora necessitem ainda de adaptações para suportar essa nova indústria, segundo o estudo.

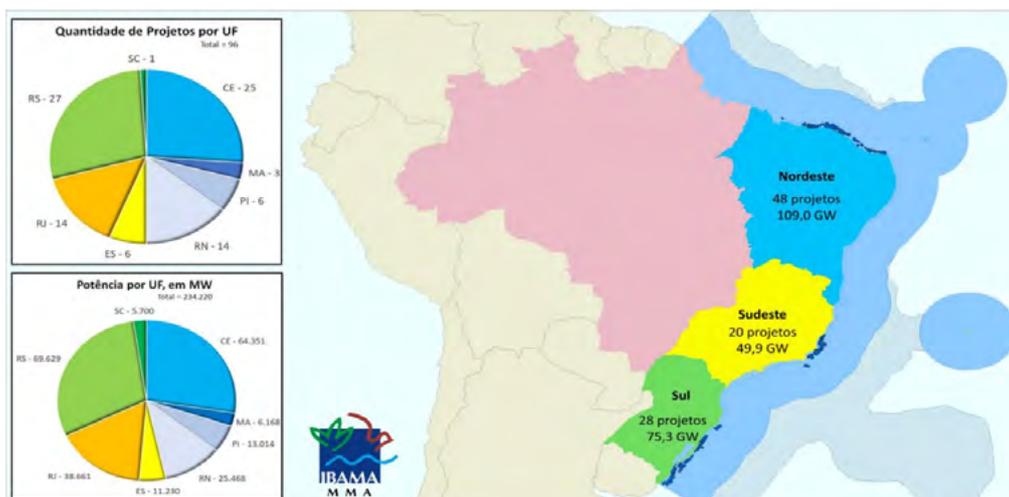
Outros desafios para a expansão das eólicas *offshore* no Brasil, além da infraestrutura portuária, incluem a falta de uma cadeia de suprimentos local desenvolvida, o alto custo de instalação e manutenção de turbinas no mar, o licenciamento ambiental, a integração com a infraestrutura de transmissão existente, a baixa demanda por energia elétrica no país e financiamento. Além disso, o ambiente regulatório, ainda em formação, pode representar uma barreira ao ritmo de desenvolvimento desejado.

O Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis tem guiado o processo ambiental com diretrizes claras, definidas no Termo de Referência, para estudos e o licenciamento de projetos, o que viabilizou a submissão de projetos para o licenciamento por parte de interessados em desenvolver eólicas *offshore* no país. Com isso, existem, hoje, mais de 234 GW em processo de aprovação, o que indica um enorme interesse de empresas em investir nessa indústria no Brasil, com potenciais benefícios para o país, como:

- A reindustrialização do país baseada em produtos verdes, empregos verdes e qualificados e uma economia descarbonizada;
- Uma maior diversificação da matriz energética brasileira, aumentando, assim, a confiabilidade e a segurança do seu sistema energético;
- Com o alto potencial para energia eólica *offshore*, a produção e exportação de hidrogênio verde, bem como produtos verdes, como o aço;
- O crescimento desse setor pode estimular a indústria local, fabricando e exportando componentes para turbinas eólicas;
- A exportação de energia renovável, produtos verdes e componentes eólicos pelo Brasil pode ajudar outras nações na transição para energias mais sustentáveis.

O mapa abaixo apresenta os projetos submetidos para licenciamento ambiental na região Sudeste, em especial Rio de Janeiro e Espírito Santo. São cerca de 20 projetos, contabilizando 49,9 GW, sendo 14 destes projetos situados no RJ e 6 em Espírito Santo.

Figura 2 - Projetos submetidos para licenciamento ambiental da região Sudeste - Ibama.



Fonte: Ibama (2024).

No entanto, para que o país colha os frutos da exploração desse potencial eólico *offshore*, aproveitando o cenário atual de grande interesse de investidores na fonte, é necessária uma estrutura regulatória clara para o direito de uso do mar, proporcionando segurança ao ambiente institucional para o avanço dessa tecnologia no Brasil.

Nesse sentido, encontra-se em tramitação no Senado o PL - Projeto de Lei nº 576/2021, que visa à estruturação do arcabouço regulatório da fonte no país.

Status da regulamentação nacional para as eólicas *offshore*

O PL nº 576/2021, proposto pelo ex-senador e atual presidente da Petrobras, Jean Paul Prates, está atualmente sob discussão no Senado. Esse projeto visa estabelecer o arcabouço regulatório para a energia eólica *offshore* no país. Após ser aprovado na Câmara dos Deputados com diferentes modificações, algumas delas relacionadas a questões externas ao setor de energia eólica *offshore*, atualmente o texto tramita para aprovação no Senado.

Na versão atual do PL nº 576/2021, após tramitação no Congresso Nacional, destacam-se alguns pontos que podem auxiliar o desenvolvimento do setor:

- Permitida a constituição de prisma nos blocos de O&G, se houver compatibilidade entre atividades: Abre possibilidade de trabalho de outras empresas em blocos de O&G, garantindo o aproveitamento das áreas que possuam bom potencial para produção de energia elétrica;
- A qualificação obrigatória mínima para fins de participação na chamada pública e de manifestação de interesse em determinado prisma: Essa obrigação garante a exclusão de empresas que não possuem capacidade de desenvolver projetos do porte das eólicas *offshore*, garantindo transparência e clareza no processo;
- Outros critérios, além do econômico, podem ser definidos em edital: A possibilidade de utilização de outros critérios além do econômico no leilão de áreas pode ser vital para o desenvolvimento a longo prazo dessa indústria no país;
- O pagamento do valor correspondente ao Bônus de Assinatura deverá constar do edital ou do ato convocatório: Essa possibilidade pode auxiliar na previsibilidade para a indústria.

Contudo, as seguintes matérias do PL nº 576/2021 possuem pontos de atenção:

- Preferência aos operadores de petróleo e gás no recebimento da outorga dos prismas coincidentes com seus blocos: Entende-se que essa preferência pode criar algumas assimetrias na comercialização da energia elétrica oriunda de projetos *offshore*;
- Conclusão do PEM – Planejamento Espacial Marinho como um pré-requisito para realização de leilões de prismas e licenciamento ambiental de qualquer atividade: Entende-se que essa exigência poderá levar a atrasos na concretização desses empreendimentos no Brasil;
- Conclusão do PEM após leilão de prismas: Deve-se garantir que, nessa hipótese, a finalização desse processo não traga impedimentos aos projetos já licitados;
- Participações governamentais: Entende-se que existe um risco de que tais participações sejam definidas em patamares que onerem ou inviabilizem os investimentos, principalmente no cenário atual em que não há previsibilidade de mercado para essa fonte de energia no país;
- Responsabilidade pelas ampliações ou reforço na rede básica atribuídas ao gerador: Tais imputações podem prejudicar ou inviabilizar os investimentos;
- Matérias sem qualquer relação com o tema das eólicas *offshore*: Existe um risco potencial de que as discussões em torno dessas matérias atrasem ainda mais o estabelecimento de um marco regulatório das eólicas *offshore* no país.

Um avanço significativo ocorreu recentemente com a indicação do relator, Weverton Rocha, e espera-se que os senadores também aprovem a regulamentação em breve. Posteriormente, o PL nº 576/2021 seguirá, então, para sanção presidencial.

Após a aprovação da Lei de energia eólica *offshore*, o próximo passo será desenvolver o marco infralegal. Isso incluirá a adequação de decretos e portarias existentes à nova legislação, além de complementações necessárias para viabilizar rapidamente o leilão de áreas no país, assegurando, assim, que os investidores interessados no setor de energia eólica *offshore* no Brasil invistam seus recursos aqui, em vez de direcioná-los para outros países.

Conjuntura política

O terceiro mandato do presidente Lula prioriza a transição energética, uma pauta transversal que vai além do MME – Ministério de Minas e Energia, envolvendo outros órgãos governamentais, como o Ministério da Fazenda e o MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, bem como instituições-chaves para o desenvolvimento da energia eólica *offshore* no Brasil, como o BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Todas essas instituições trabalham em conjunto na construção de políticas que viabilizem os caminhos para alcançar os objetivos da transição para uma economia mais forte e com baixa pegada de carbono.

O Brasil adotou uma nova política industrial visando ao desenvolvimento até 2033, que inclui a destinação de R\$ 300 bilhões do Plano Mais Produção para financiar a neointustrialização até 2026. Esse impulso para uma nova industrialização demandará um aumento significativo no fornecimento de energia renovável, que poderá ser atendido por parques eólicos *offshore*.

Nesse cenário, o mercado interno prevê um crescimento substancial na demanda por energia elétrica renovável, impulsionado pela descarbonização de grandes consumidores, como os setores de mineração, ferro, fertilizantes, SAF – *sustainable aviation fuel* (combustíveis sustentáveis de aviação), hidrogênio de baixo carbono e combustíveis marítimos. Há também uma crescente intenção de atrair novas indústrias interessadas em produzir com uma pegada menor de carbono, ampliando ainda mais a necessidade de energia renovável no país.

Com a crescente pressão global para reduzir as emissões de carbono e a necessidade de diversificar as fontes de energia, o Brasil, e em particular o Rio de Janeiro, está posicionado para ser um líder na energia eólica *offshore* na América Latina. A elaboração de políticas claras, o investimento em infraestrutura e a cooperação entre o setor público, privado e comunidades locais serão cruciais para capitalizar o potencial eólico *offshore* do Brasil e superar os desafios existentes.

O estado do Rio de Janeiro e a tecnologia

A inserção das eólicas *offshore* no cenário energético global tem se destacado como uma alternativa promissora para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de carbono. No Brasil, país com vasto potencial eólico, as eólicas *offshore* representam uma vertente ainda em desenvolvimento, mas com potencial para se tornar uma peça fundamental na expansão da energia renovável e na transição energética nacional e global.

No contexto específico do estado do Rio de Janeiro, a tecnologia das eólicas *offshore* surge como uma oportunidade promissora. Segundo o “*Roadmap de Eólicas Offshore – Perspectivas e Caminhos para Energia Eólica Marítima*”, documento elaborado pela EPE, o Rio de Janeiro, bem como os estados do Ceará, Espírito Santo, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul, podem ser competitivos para promover o desenvolvimento da tecnologia.

A alternativa das eólicas *offshore* para a região do estado emerge com uma possibilidade de garantir segurança energética para o estado a partir de uma tecnologia de baixo carbono, considerando que a maior parte da capacidade do estado é dependente de usinas termelétricas.

Desse modo, a infraestrutura portuária existente, o conhecimento acumulado no estado na atuação de plataformas de petróleo em águas marítimas, o desenvolvimento de empresas navais com experiência e tecnologia na área de óleo e gás e os excelentes recursos eólicos no litoral do estado podem representar um diferencial importante para o avanço e a consolidação do setor eólico *offshore* no país. A Tabela 1 apresenta de forma sumarizada as perspectivas e oportunidades para as eólicas *offshore* no estado do Rio de Janeiro. Essas perspectivas e oportunidades são aprofundadas nas seções subsequentes do artigo.

Tabela 1 - Oportunidades e desafios resumidos para o estado do Rio de Janeiro

Oportunidades/Desafios	Tipo	Descrição
Definição do marco regulatório	Desafio	A definição do marco regulatório é fundamental para a segurança, transparência e atração de os investimentos
Crescimento da demanda	Desafio	A implementação dos projetos eólicos <i>offshore</i> exige um forte crescimento da demanda de energia elétrica
Desenvolvimento da tecnologia	Desafio	O desenvolvimento da tecnologia contribuirá para a redução dos custos de CAPEX – <i>capital expenditure</i> e OPEX – <i>operating expenses</i>
Sistema de transmissão	Desafio	Necessidade de planejamento e expansão do sistema de transmissão para viabilizar a conexão dos projetos e o transporte da energia
Capacitação pessoal	Desafio	Capacitação para as pessoas que já atuam em projetos eólicos <i>onshore</i> , bem como no setor O&G, será necessária. Incluir diferentes grupos na temática também é fundamental
Localização estratégica	Oportunidade	O estado do Rio de Janeiro está localizado perto do maior centro de carga do país, região que também oferece excelente infraestrutura (rodovias, indústrias, centros de pesquisa e mão de obra)
Infraestrutura portuária	Oportunidade	A infraestrutura portuária existente já é bem adequada para o desenvolvimento dos projetos <i>offshore</i> do estado e da região
Integração com o setor O&G	Oportunidade	O setor O&G é bem desenvolvido no estado e pode funcionar como impulsionador dos parques <i>offshore</i>
P&D	Oportunidade	Diversos projetos de P&D – pesquisa e desenvolvimento serão desenvolvidos, fomentando a pesquisa e capacitação
Geração de empregos	Oportunidade	Geração de emprego no estado para viabilizar a implantação dos projetos e atividades relacionadas

Fonte: elaboração ABEEólica.

Perspectivas e desafios para o estado do RJ e as eólicas *offshore*

O principal desafio e perspectiva setorial para o estado reside no estabelecimento do marco regulatório que garanta previsibilidade e planejamento para a realização de leilões de cessão de área. Os leilões de cessão de área são a sinalização fundamental para o desenvolvimento dos próximos passos do setor de energia eólica *offshore*. Essa sinalização tem o objetivo de garantir sinais para que o estado possa se planejar e iniciar sua preparação da cadeia produtiva. Esse desafio abrange não somente o estado do Rio de Janeiro, mas todos os estados que estão pleiteando o desenvolvimento da tecnologia nos próximos anos e necessitam iniciar a sua preparação da cadeia produtiva. O alinhamento entre os leilões de cessão de área e o desenvolvimento da cadeia produtiva são relevantes para o futuro sustentável do estado.

Outro desafio importante para qualquer novo projeto de geração, incluindo *onshore*, é a falta de previsão de crescimento da demanda de energia elétrica no país, que se encontra estagnada desde a pandemia do COVID-19. Ainda devem ser considerados a momentânea sobre oferta estrutural de energia no país e o fato de que o preço da liquidação das diferenças, usado como base para a valoração dos contratos, ter ficado no seu valor mínimo nos últimos dois anos. Esses dados provocam questionamentos temporários em relação a investimentos futuros.

O PNE – Plano Nacional de Energia é o conjunto de estudos que dão suporte ao desenho da estratégia de longo prazo do planejador em relação à expansão do setor de energia. Na versão aprovada em 2020, é apresentado um conjunto de recomendações e diretrizes a serem seguidas ao longo do horizonte de 2050. Com relação à entrada de eólica *offshore* no país, foram definidos alguns cenários. No cenário mais otimista, é considerado que a geração *offshore* será equivalente a 15% da capacidade instalada de eólica *onshore* até 2035, desenvolvida inicialmente em projetos de menor porte a partir de 2031. Já no cenário mais pessimista, a energia eólica *offshore* é desenvolvida em escala comercial só a partir de 2040.

Portanto, é crucial que a economia demonstre sinais de crescimento, o que implica uma demanda crescente por energia elétrica. A aprovação dos projetos de lei voltados para o hidrogênio de baixo carbono e o mercado de carbono é vista como um impulso significativo para os projetos de geração renovável no país.

Outro desafio está relacionado ao sistema de transmissão. O estado do Rio de Janeiro está localizado na região Sudeste, que é o maior centro de carga do país e a região atendida por um denso sistema de transmissão de energia elétrica, fortemente interligado. Essa proximidade da geração com a carga contribui para reduzir os custos com as tarifas de uso do sistema de transmissão, tornando o projeto mais competitivo.

Entretanto, tal diferencial pode não ser suficiente para fazer frente à futura concorrência dos atuais 234 GW de projetos eólicos *offshore* que possuem processos de licenciamento ambiental abertos no Ibama, até 18 de janeiro de 2024. Desse total, 38,7 GW estão localizados no estado do Rio de Janeiro, enquanto outros 11,3 GW estão localizados no estado do Espírito Santo, ou seja, existem quase 50 GW de projetos que disputarão o mercado em condições semelhantes, incluindo valores de tarifas do uso do sistema de transmissão.

Por outro lado, segundo o estudo da COPPETEC – Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos, diversos fatores relacionados à transmissão impactam os futuros empreendimentos de eólicas *offshore* do Brasil, incluindo os do Rio de Janeiro, tais como: falta de infraestrutura de transmissão e capacidade de escoamento nos pontos de elevado potencial *offshore* no país, falta de adequado dimensionamento e recomendação do plano de obras da transmissão, falta de definição sobre o direito de propriedade e obrigação de instalação dos equipamentos de transmissão submarinos. Adicionalmente, a integração da fonte no SIN – Sistema Interligado Nacional irá requerer um contínuo processo de diálogo entre planejadores, executores da expansão da transmissão e os principais empreendedores.

O estado do Rio de Janeiro, em relação à energia eólica *offshore*, enfrenta desafios comuns aos demais estados brasileiros. Não foi identificada uma situação específica que possa afetar a competitividade do estado no desenvolvimento dessa tecnologia. Todavia, é essencial avaliar e enfrentar questões técnicas e logísticas, adaptando infraestruturas existentes e desenvolvendo novas tecnologias adequadas às condições das águas costeiras da região. Além disso, a abordagem de questões ambientais, regulatórias, tributárias e de licenciamento é crucial para garantir um desenvolvimento sustentável e a viabilidade econômica dessa forma de energia renovável no estado.

Oportunidades para o desenvolvimento das eólicas *offshore* no estado do RJ

Por outro lado, inúmeras são as oportunidades para que o estado se apresente como diferencial para o desenvolvimento de projetos eólicos. Além de estar localizado perto do maior centro de carga do país, o estado conta com uma excelente malha rodoviária, centros universitários e tecnológicos especializados em pesquisas relacionados ao ambiente marítimo, além da experiência de diversas empresas que atuam no ambiente de energia elétrica, petróleo e gás.

As plataformas de petróleo e gás já existentes, bem como os novos empreendimentos que serão implementados, podem contribuir para o desenvolvimento dos parques eólicos *offshore*, devido à sinergia entre as operações. Existem muitas semelhanças entre as eólicas *offshore* e a indústria de óleo e gás, tais como: design de fundação, fabricação, construção e instalação *offshore*, operação das embarcações e O&M submarino.

Apesar das semelhanças das atividades, haverá necessidade de requalificação, recertificação e programas de desenvolvimento da força de trabalho. Desse modo, a capacitação de mão de obra e o treinamento são fundamentais para preparar a cadeia produtiva. Comparando as instalações eólicas *offshore* e *onshore*, verifica-se que, embora sejam tecnologias semelhantes, apresentam muitas diferenças, exigindo profissionais com diferentes capacitações.

Em paralelo, a ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial mapeou 52 profissões vinculadas ao setor eólico, que podem ser agrupadas de acordo com as fases da cadeia produtiva: construção e montagem, desenvolvimento de projetos, ensino e pesquisa, manufatura e operação e manutenção do parque.

Além da demanda de profissionais para atuação nos parques eólicos *offshore*, haverá necessidade do desenvolvimento e treinamento especializado desses profissionais, o que fomentará a criação de diversos cursos de formação, contribuindo para maior arrecadação do estado. Também cabe citar que diversos projetos de PD&I deverão ser realizados com foco no desenvolvimento da tecnologia *offshore*.

38

A implantação de usinas de geração de energia eólica *offshore* pode ser um vetor de criação de empregos a nível nacional, regional e local. Segundo a COPPETEC, poderão ser criados no Brasil de 11 até 34 empregos diretos e indiretos por MW em cada ano, dependendo do cenário de desenvolvimento tecnológico.

O estudo cadeia de valor, realizado pela COPPETEC, também demonstra que são necessárias novas adaptações da infraestrutura portuária. Especificamente com relação ao Porto do Açu, localizado no estado do Rio de Janeiro, o material destaca que o porto possui grande disponibilidade de área para arranjos logísticos de um porto de instalação de energia eólica *offshore* regional, abrangendo a capacidade de atender aos diferentes projetos na região. O porto possui um cais de carga geral de 875 m de comprimento e 14 m de profundidade, permitindo o atendimento de até dois grandes navios de longo curso por vez para o perfil de carga demandado, além do canal de acesso de 14 m.

Dentro dessa ampliação de capacidade portuária, o conjunto da infraestrutura portuária no âmbito nacional e regional deve tomar atenção em três fatores fundamentais para acomodar o futuro da tecnologia regionalmente:

- Aumento da capacidade de carga dos cais de atracação;
- Aumento da oferta de área de armazenagem contígua ao cais;
- A capacitação da resistência do solo por tratamento geotécnico.

Adicionalmente, podem fomentar o desenvolvimento da indústria de hidrogênio de baixo carbono, que igualmente demandará maior utilização do porto, cursos específicos de formação e outros. O desenvolvimento das indústrias eólicas *offshore* e de hidrogênio de baixo carbono podem fortalecer ainda mais a indústria de aço no estado, contribuindo para a fabricação do aço verde, cuja demanda mundial deve crescer nos próximos anos.

Por fim, o estado possui a SEENEMAR – Secretaria de Energia e Economia do Mar que tem angariado como discussão os principais temas associados às tecnologias voltadas para a economia do mar. A SEENEMAR instituiu um GT – Grupo de Trabalho para o desenvolvimento das eólicas *offshore* com foco no desenvolvimento de um projeto piloto. Além disso, a secretaria tem como objetivo consolidar o estado como um ecossistema para a produção de energia limpa e renovável no país, a partir de diversas iniciativas pautadas por uma agenda estratégica para a economia do mar no estado do RJ.

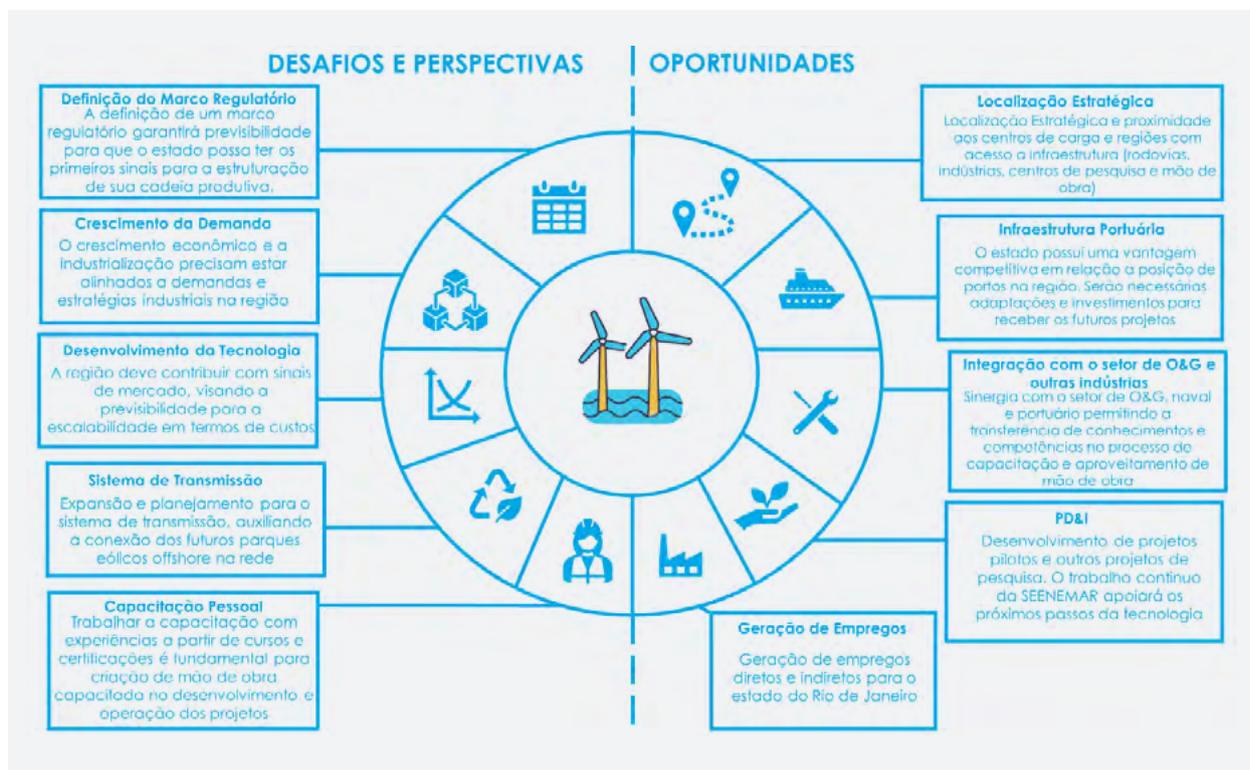
Considerações finais

À medida que direcionamos os esforços estratégicos da transição energética para um horizonte de energia mais sustentável, é crucial reconhecer a importância das eólicas *offshore* no contexto energético do estado do Rio de Janeiro. Embora existam perspectivas e desafios significativos, como a necessidade de superar barreiras técnicas e logísticas para construção e operação desses empreendimentos, bem como lidar com questões regulatórias e ambientais, é nítido que as oportunidades apresentadas são igualmente promissoras.

A sinergia entre a indústria de petróleo e gás e o avanço das eólicas *offshore* oferecem um caminho tangível para o crescimento econômico e a geração de empregos na região. A expertise acumulada nesse setor, aliada à infraestrutura portuária já estabelecida, consolida o Rio de Janeiro como um ponto focal para a inovação e o desenvolvimento tecnológico nesse campo específico. Destaca-se, também, o fato de que a região é um centro de consumo de energia do sistema elétrico, com uma demanda energética geograficamente localizada.

Ademais, é relevante destacar que as eólicas *offshore* não apenas desempenham um papel crucial na mitigação das emissões de carbono, mas também contribuem para reforçar a segurança energética e a resiliência do estado diante dos desafios climáticos e das flutuações nos preços dos combustíveis fósseis.

Figura 3 - Caleidoscópico de desafios e oportunidades do estado do Rio de Janeiro para as eólicas *offshore*.



Fonte: elaboração ABEEólica.

Referências

ABEEólica; COPPETEC/UFRJ; Essenz Soluções. Estudo da Cadeia de Valor: Eólica Offshore. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Sumario-Executivo.pdf>. Acesso em 08 maio 2024.

ABDI. Mapeamento da Cadeia Produtiva da Indústria Eólica no Brasil. Disponível em: Disponível em: <http://www.abdi.com.br>. Acesso em: 22 mar. 2018.

IBAMA. Ambiental Abertos no IBAMA. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20240129_Mapas_eolicas_offshore_ibama.pdf. Acessado em: 20 abril. 2024.

MME. PNE 2050 - Plano Nacional de Energia. Ministério de Minas e Energia (2020). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 20 abr. 2024.

Carbon Brief. Clear on Climate - Analysis. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-record-low-price-for-uk-offshore-wind-is-four-times-cheaper-than-gas/>. Acesso em: 08 maio 2024.

EPE. Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectiva e caminhos para a energia eólica marítima 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-eolica-offshore-brasil>. Acesso em: 08 maio 2024.

EPE. Caderno de Preços de Geração de 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-precos-da-geracao>. Acesso em: 08 maio 2024.

IRENA. Future of Wind - Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf. Acesso em 08 maio 2024

GWEC. Global Wind Energy Council (2024). Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2024/>. Acesso em: 08 maio 2024.

IBAMA. Complexos Eólicos Offshore – Projetos com Processos de Licenciamento. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>. Acesso em: 08 maio 2024.

IBAMA. Termo de Referência – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA – Complexos Eólicos. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/publicacoes/2020-11-TR_CEM.pdf. Acesso em: 08 maio 2024.

IRENA. Renewable Power Generation Costs 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>. Acesso em: 08 maio 2024.

Lamassa, D (2024). Projeto Piloto Eólicas Offshore. Apresentação – Brazil Offshore Wind Summit 2024. Rio de Janeiro, Brasil.

Renewable Energy World. Report says offshore wind could beat onshore wind on cost. Disponível em: <https://www.renewableenergyworld.com/wind-power/report-says-offshore-wind-could-beat-onshore-wind-on-cost/#gref>. Acesso em: 08 maio 2024.

UNCTAD; FAO. Building a Sustainable and Resilient Ocean Economy. Disponível em: <https://unctad.org/system/files/non-official-document/ditc-ted-06042022-Oceans4-BackgroundNote-v3.pdf>. Acesso em: 08 maio 2024.

ESMAP. The Role of Concessional Climate Finance in Accelerating the Deployment of Offshore Wind in Emerging Markets. Disponível em: <https://www.esmap.org/concessional-finance-for-offshore-wind>. Acesso em: 08 maio 2024.



Potenciais de H₂ no Rio e o H₂ natural

Elaborado pela ABH2

Introdução

A crescente demanda mundial por energia representa por si só um grande desafio, ao mesmo tempo que a emergência climático-ambiental e a consequente necessidade de descarbonização requerem que seja implementada uma transição desde combustíveis de alta emissão, como os combustíveis fósseis sem abatimento de carbono, para energias de baixas emissões, como as renováveis, os fósseis com abatimento de carbono e a energia do hidrogênio. Embora não haja a premissa de desfossilização imediata, tal transição tende a retirar o foco marcante atual do petróleo e do gás natural para privilegiar o aumento do uso de fontes energéticas renováveis e de baixa emissão. O Brasil já deu um passo grande nesse sentido ao desenvolver indústria pujante e uso em larga escala de biocombustíveis e, por isso mesmo, tem um ambiente receptivo a novas mudanças no setor para aumentar progressiva e sistematicamente a participação das novas renováveis na sua matriz energética, que já é quase 50% limpa, e implementar o uso energético do hidrogênio como mais uma solução sustentável e descarbonizante.

Ao observar as transições energéticas anteriores, fica claro o aumento progressivo na densidade energética, na simplificação da constituição química, na diminuição no teor de carbono e no aumento no de hidrogênio desde o uso da madeira, para o do carvão, do petróleo e do gás natural, até vislumbrar o uso do combustível que não carrega carbono com si e só é constituído de hidrogênio. Na realidade, o hidrogênio, além de combustível primário como os demais, devido à existência de hidrogênio natural no planeta Terra, também é uma fonte energética descarbonizada e um vetor energético, tal qual a eletricidade. Essa multitudine de características proporciona ao hidrogênio uma outra possibilidade, nova e especial, impossível aos demais combustíveis, que é a de conectar setores.

Isto é, atualmente, há setores da nossa sociedade que são atendidos prioritariamente pelo diesel, pela gasolina ou o etanol, como o setor de transportes, enquanto outros têm predominância da eletricidade, como nos edifícios, na iluminação pública e na energização de diversas máquinas e dispositivos. O hidrogênio, por ser um combustível e um vetor energético, pode ser usado na propulsão de veículos com motores a combustão ou elétricos e também pode ser usado em pilhas a combustível para produzir eletricidade e calor demandados em seus usos convencionais. Portanto, o hidrogênio se habilita aos mais variados setores da sociedade sem produzir emissões poluentes ou carbonetantes na sua utilização.

Produzir e usar hidrogênio não é novidade. Isso já ocorre atualmente em larga escala, pois são produzidas e consumidas anualmente cerca de 100 milhões de toneladas de hidrogênio no mundo. Este é um hidrogênio dito cativo, majoritariamente utilizado próximo do local em que é produzido, sendo 99% oriundo de combustíveis fósseis, principalmente através da reforma a vapor do gás natural e da gaseificação do carvão, dos quais menos de 1% é de baixa emissão de carbono e cerca de 0,1% é originado com o uso de energia elétrica. Uma grande transformação ocorrerá até 2050, quando a produção mundial deverá exceder 500 milhões de toneladas anuais, sendo a maior parte de baixa emissão de carbono, produzido usando matérias primas e fontes renováveis de energia e caracterizado como hidrogênio mercantil, pois está em vias de se tornar uma nova mercadoria energética mundial.

Hoje, o mundo começa a ser dividido entre países que são potenciais compradores de hidrogênio de baixa emissão de carbono, como o Japão e alguns europeus, por não terem capacidade de desenvolver produção local em larga escala; aqueles que serão autossuficientes em hidrogênio, como os países da América do Norte; e outros que serão autossuficientes e potenciais exportadores de hidrogênio e seus derivados, tal qual o Brasil, alguns outros países latino-americanos e países da costa norte da África ao Oriente Médio. O potencial brasileiro para a produção em larga escala de hidrogênio de baixa emissão de carbono é muito grande. Isso se deve a sua enorme disponibilidade de rejeitos e resíduos de biomassa e biocombustíveis, a sua autossuficiência em combustíveis fósseis com sequestro de carbono, ao potencial de produção de energias renováveis e ao grande potencial que apresenta de produzir hidrogênio natural. Esse potencial deve ser usado para, estrategicamente, desenvolver um mercado interno robusto, descarbonizar produtos variados com hidrogênio, tanto para o consumo interno como externo, e ainda exportar hidrogênio, seus derivados e produtos com ele descarbonizados.

O Rio de Janeiro também ocupa posição favorável para a produção de hidrogênio. O estado é um importante produtor de gás natural e, além disso, possui grande potencial para produção de energia eólica, bom potencial para produção de energia solar, é o segundo maior produtor de biogás do país e dispõe de ocorrências de hidrogênio natural no seu subsolo. O estado do Rio de Janeiro também se destaca como um importante centro industrial, e surge como um candidato promissor para se tornar um grande polo de hidrogênio.

Com sólida base industrial nos setores de petróleo e gás, naval, automotivo e químico e desenvolvimento acerca de arcabouço legal regulatório para insumos energéticos, o estado está bem-posicionado para alavancar a transição para fontes de energia de baixas emissões com uso do hidrogênio. A adoção dessas tecnologias pode não só impulsionar a inovação nessas indústrias, mas também criar oportunidades de negócios, empregos e neoindustrialização, além de impulsionar a regulação para o restante do país.

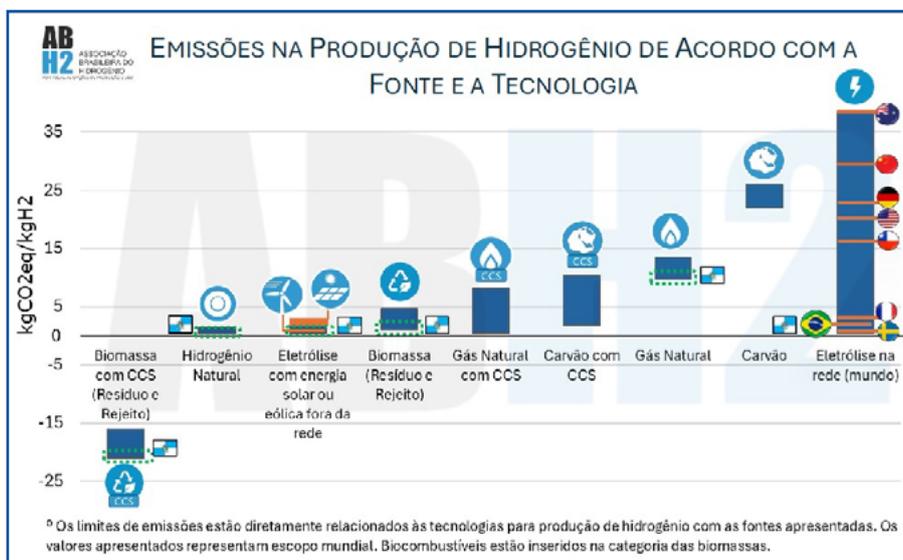
Além do já anunciado polo de produção e uso do hidrogênio e derivados de hidrogênio, como a amônia, na região do Porto do Açu, o estado também dispõe de regiões com vocações específicas. Um exemplo é Maricá, com potencial para produção de hidrogênio através da reforma do gás natural com captura de carbono, graças à Rota 3 do gás natural, e para extração de hidrogênio natural com perspectivas muito promissoras, além de consumo de hidrogênio em veículos pesados na cidade. Outro exemplo é da Petrobras, com projetos de polos de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono através da captura e sequestro de carbono em regiões de aquíferos salinos *offshore*. Um terceiro polo, focado em inovação, se formou na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde são desenvolvidas pesquisas tecnológicas de base científica sobre ônibus híbrido elétrico-hidrogênio, sobre a utilização direta de hidrogênio, biogás ou etanol em pilhas a combustível de óxido sólido para geração de eletricidade e calor e sobre hidrogênio natural.

O presente texto tem como objetivos apresentar e discutir dados qualitativos e quantitativos dos custos e das emissões de carbono associados à produção de hidrogênio, abordar a questão regulatória no setor, introduzir o conhecimento recente sobre hidrogênio natural e mostrar o posicionamento do estado do Rio de Janeiro nesses contextos.

Produção de hidrogênio: emissões

Embora atualmente concentrada nos combustíveis fósseis, são variadas as possibilidades para a produção de hidrogênio, mesmo de baixa emissão de carbono. A Figura 1 mostra a intensidade de emissões de CO_{2eq} para várias fontes e tecnologias diferentes. O uso atual do carvão e do gás natural produz hidrogênio com teor elevado de emissões. Entretanto, com o controle adequado dos processos, incluindo CCS – *carbon capture and storage* (captura do carbono e o seu sequestro), podem atingir valores reduzidos de emissões considerados de baixa emissão de carbono. A eletrólise da água, realizada com energias solar ou eólica geradas fora da rede elétrica interligada nacional, apresenta atratividade em termos de emissões, devido aos limites dos valores observados. Entretanto, se a energia elétrica da rede é utilizada para realizar a eletrólise da água, a situação é muito variada. Por exemplo, países como Suécia, Brasil e França podem produzir hidrogênio de baixa emissão de carbono realizando eletrólise da água com energia elétrica das suas redes convencionais, enquanto Chile, Estados Unidos e Alemanha só o fazem com muitas emissões associadas e, ainda, China e Austrália atingem valores de emissões superiores àqueles observados com uso convencional de carvão e gás natural.

Figura 1 – Emissões, em kg CO_{2eq}/kgH₂, para diferentes fontes e tecnologias de produção de hidrogênio.³



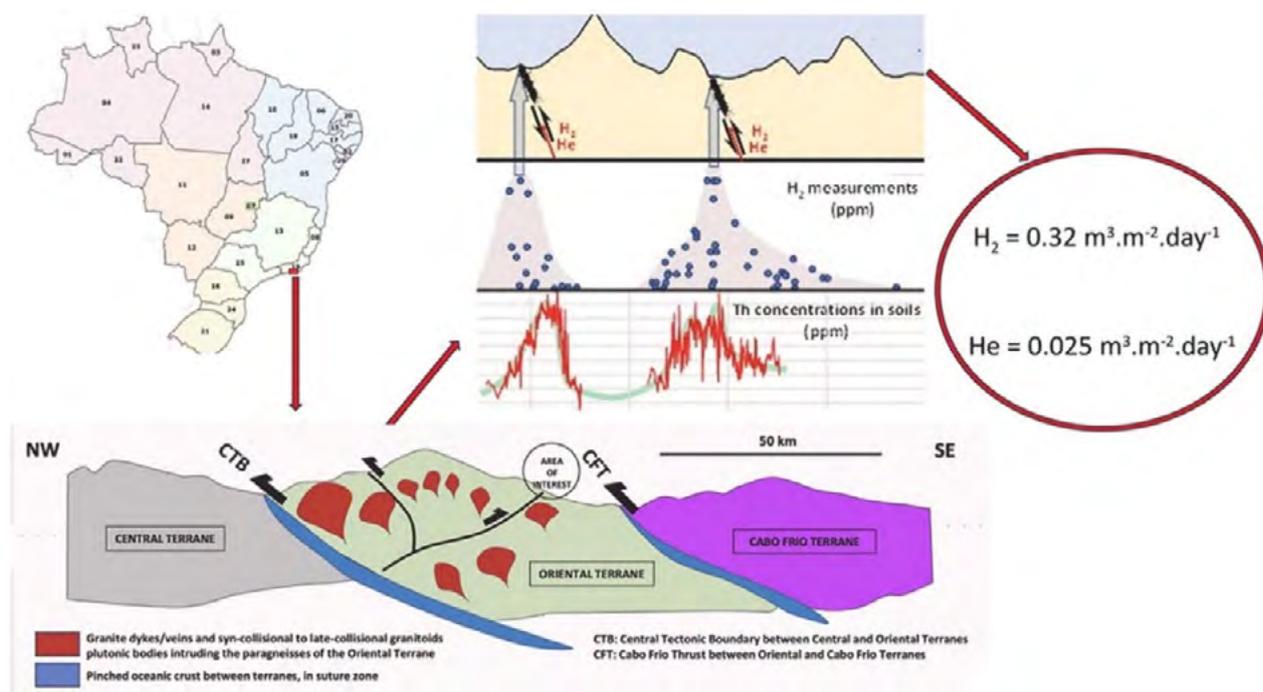
Fonte: elaboração ABH2 a partir de dados Prinzhofe *et al.* (2024), Gaucher *et al.* (2023), Brandt *et al.* (2023), MME (2024), Cook *et al.* (2023), Carbonfootprint (2024), ANP (2024), SANTOS *et al.* (2021) e IEA (2023).

³As bandeiras em "Eletrólise na rede (mundo)" representam países e, nesta coluna e nas demais, o Rio de Janeiro.

No que concerne às emissões, destaque especial deve ser dado às possibilidades de produção de hidrogênio através de metodologias termoquímicas ou biológicas usando resíduos e rejeitos de biomassa e biocombustíveis. Isto porque o Brasil, um país agroindustrial, é muito rico nestas matérias primas e o estado do Rio de Janeiro é um grande produtor nacional de biogás (o segundo maior do país). Ademais, o carbono emitido na produção de hidrogênio usando biomassas é biogênico, ou seja, ele não é oriundo do subsolo e, embora aumente localmente o teor atmosférico de carbono, não o altera globalmente. Tal fato faria com que o balanço das emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ na utilização das biomassas fosse nulo. Mas, considerando todo o processo, ainda há emissões positivas, uma vez que as atividades associadas à preparação da biomassa e biocombustíveis, incluindo transporte, armazenamento e processamento, emitem gases do efeito estufa. Por fim, a utilização de biomassas representa o único método capaz de atingir emissões fortemente negativas de CO_2 ao se realizar CCS, o que significa limpar, remover CO_2 do meio ambiente.

Outro destaque importante deve ser dado ao hidrogênio natural, pelo potencial marcante que a sua exploração poderá resultar. Este é um conhecimento muito recente. A primeira descoberta relevante data de 2010, e o primeiro livro de grande circulação sobre tecnologias de energia baseadas no hidrogênio contendo tais descrições foi publicado em 2019 pela Elsevier. De natureza abiótica e renovável, portanto não dependente da decomposição de biomassas como os combustíveis fósseis, o hidrogênio natural é fruto de reações geológicas entre a água de aquíferos subterrâneos e certas rochas ou do decaimento nuclear de elementos químicos radioativos presentes na subsuperfície terrestre, tais como tório, urânio e potássio, que promovem a radiólise da água. Hidrogênio natural já foi descoberto no Rio de Janeiro e em outros lugares do território nacional, assim como em vários países do mundo, em todos os continentes. Ele se encontra nos primórdios da sua exploração e conhecimento e representa, atualmente, uma fantástica possibilidade de produção em larga escala de um combustível limpo e inesgotável. A Figura 2 mostra o mapa de localização de área de estudo em Maricá, RJ, e a correlação em seção transversal de anomalias de hidrogênio na superfície e de concentração de tório na subsuperfície. Tais anomalias, de H_2 e de Th , estão localizadas na intersecção de falhas de empurrão tectônico, e fluxos estimados de H_2 e He também são apresentados.

Figura 2 - Mapa de localização de área de estudo de hidrogênio natural em Maricá, RJ, e correlação ao longo de uma seção transversal de anomalias de hidrogênio na superfície e de concentração de tório na subsuperfície.⁴



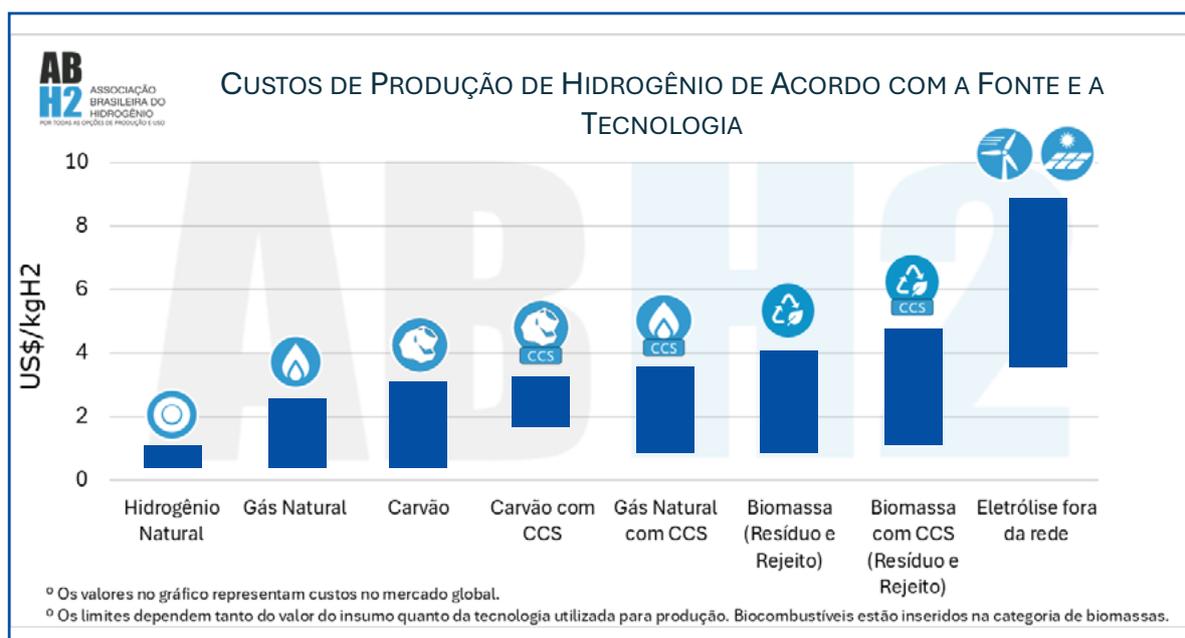
Fonte: Prinzhofer *et al.* (2024).

⁴ Os fluxos estimados de hidrogênio e hélio também são apresentados.

Produção de hidrogênio: custos

A Figura 3 apresenta os custos de produção de hidrogênio para o mercado global. Naturalmente, as matérias-primas e tecnologias mais utilizadas e maduras são também as que apresentam custos menores para a produção de hidrogênio, abaixo de US\$ 3,00/kgH₂. Ressalta-se que há metodologias de uso do gás natural, como reforma autotérmica ou pirólise, que podem atingir níveis baixos de custo, com a vantagem de também apresentarem baixas emissões se acopladas a tecnologias de abatimento de carbono, como CCS. Novamente, a biomassa se destaca com baixos limites inferiores para custos, representando os casos brasileiro e do estado do Rio de Janeiro, ao mesmo tempo que mostra as melhores vantagens ambientais, principalmente com CCS.

Figura 3 - Custos para a produção de hidrogênio, em US\$/kgH₂, para diferentes fontes e tecnologias de produção de hidrogênio.



Fonte: elaboração própria a partir de dados de Prinzhofer *et al.* (2024), Gauthier *et al.* (2023), Cook *et al.* (2023) e IEA (2023).

Já o custo da eletrólise da água ainda é muito elevado, com perspectivas de diminuição gradativa caso uma porcentagem significativa dos muitos projetos hoje divulgados no Brasil e no mundo atinja decisão final de investimento para a sua realização. Vários órgãos internacionais preveem importante decréscimo no custo de produção de hidrogênio por esse método até o final da presente década, considerando a instalação de mega fábricas de eletrolisadores, que poderão suprir projetos com capacidade instalada na casa dos GW.

O hidrogênio natural, o qual ainda não atingiu produção em larga escala e experimenta seus primeiros poços exploratórios, tem valor estimado com base nos procedimentos que se espera poder desenvolver, parte dos quais análogos à exploração do gás natural. Caso tais custos baixíssimos se confirmem, assim como a viabilidade de produção em escala, pelas suas vantagens ambientais e de renovabilidade, o hidrogênio natural representará uma revolução análoga àquela do petróleo há mais de um século atrás e poderá se superar de forma muito vantajosa a outros métodos de produção de hidrogênio.

Produção e uso de hidrogênio: políticas públicas e regulação

A regulação dos sistemas de energia apresenta um papel fundamental na transição energética, uma vez que visa reestruturar as assimetrias existentes entre a emissão de gases de efeito estufa e os baixos custos associados à utilização de recursos energéticos fósseis. Para o caso do hidrogênio, regulações visam viabilizar economicamente e tecnologicamente a produção através de rotas de baixa emissão e usos não cativos em setores em que outras formas de abatimento de emissões não podem ser alcançadas.

Três abordagens são frequentemente usadas por formadores de política pública no âmbito do hidrogênio. A primeira busca estabelecer o escopo conceitual do tipo de hidrogênio em questão. A segunda se refere a abordagens de penalização por emissões de gases de efeito estufa. E a terceira aborda incentivos para a produção ou compra de hidrogênio ou derivados de baixa emissão de carbono. A Tabela 1 mostra exemplos de políticas públicas relacionadas à economia do hidrogênio.

Abordagens conceituais

A abordagem conceitual busca definir o escopo do hidrogênio a ser regulado no contexto da transição energética. O principal objetivo é diferenciar os processos de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono dos existentes nos setores tradicionais do hidrogênio, tais como as produções cativas no refino, produção de amônia e metanol. Usualmente, as abordagens conceituais definem o escopo a partir da intensidade de carbono emitida a partir da produção do hidrogênio ou seus derivados. As rotas de produção comercialmente viáveis e escalonáveis também são frequentemente incluídas, especialmente quando o escopo da regulação interfere em políticas de subsídios. Por fim, as abordagens conceituais também podem definir os usos do hidrogênio em setores de difícil abatimento.

Abordagens de penalização de emissões

Os mercados de carbono compulsório têm sido um forte incentivo à utilização do hidrogênio na descarbonização de setores de difícil abatimento. Os vários tipos de mercados de carbono têm como principal objetivo restringir as emissões de gases de efeito estufa, seja estabelecendo um limite máximo para emissões permitidas ou criando mecanismos de custos associados à emissão. Esses mecanismos reduzem o hiato entre o baixo custo do uso de recursos incumbentes de alta emissão e os altos custos de adoção de novas tecnologias e utilização de recursos energéticos renováveis.

Abordagens de incentivo

Formadores de política pública têm sugerido diversos instrumentos financeiros para reduzir os altos custos de produção, armazenamento e distribuição do hidrogênio e seus derivados de baixa emissão de carbono. Esses incentivos variam, mas têm, principalmente, quatro formas:

1. Incentivo à produção de hidrogênio, derivados ou combustíveis renováveis;
2. Incentivos à captura de CO₂ durante os processos de produção de hidrogênio;
3. Créditos ou investimento direto para a instalação de unidades de produção de componentes da cadeia de valor do hidrogênio;
4. Créditos ou investimento direto em projetos industriais utilizando hidrogênio.

Tabela 1 - Exemplos de políticas públicas relacionadas à economia do hidrogênio

Tipo de abordagem	Exemplos
Definição do escopo	RED II (EU), IRA (USA)
Penalização por emissões	ETS EU, LCFS (Califórnia), GHGPPA (Canadá)
Incentivos	IRA (EUA), CfD (UK, Alemanha), IJJA (EUA), EUH2Bank (UE)

Fonte: elaboração ABH2.

É importante ressaltar que uma boa condução de políticas públicas para a abertura de mercado do hidrogênio mercantil de baixo carbono deve considerar as três abordagens em conjunto. A diversidade de matérias-primas, de fontes energéticas e de indústrias do estado do Rio de Janeiro é viabilizadora de tecnologias variadas para a produção e uso do hidrogênio de baixa emissão de carbono para fins energéticos e industriais. Os recentes desenvolvimentos no arcabouço legal-regulatório para hidrogênio no estado estão em consonância com as diretrizes de políticas públicas observadas em âmbito nacional. Tais fatos contribuem para a consolidação do estado do Rio de Janeiro como um importante polo de hidrogênio no Brasil.

Referências

Prinzhofer, A., Rigollet, C., Lefeuvre, N., Françolin, J., Miranda, P.E.V.; "Maricá (Brazil), the new natural hydrogen play which changes the paradigm of hydrogen exploration", *International Journal of Hydrogen Energy*, 62, 91–98, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031992400692X>. Acesso em 06 maio 2024.

Gaucher, E.C.; Moretti, I.; Pélissier, N.; Burrige, G.; Gonthier, N.; "The place of natural hydrogen in the energy transition: A position paper", *European Geologist*, 55, pp. 5–9, 2023. Disponível em: <https://eurogeologists.eu/gaucher-the-place-of-natural-hydrogen-in-the-energy-transition-a-position-paper/>. Acesso em: 06 maio 2024.

Adam R. Brandt. Greenhouse gas intensity of natural hydrogen produced from subsurface geologic accumulations. *Joule*; 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S254243512300274X>. Acesso em: 06 maio 2024.

MME. Fator de emissão de CO2 na geração de energia elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/02/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos>. Acesso em: 01 mar. 2024.

Cook B.. Techno-economic analysis of biomass gasification for hydrogen production in three US-based case studies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, p. 202–218, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319923037047>. Acesso em: 06 maio 2024.

Carbonfootprint. International Electricity Factor. Disponível em: https://www.carbonfootprint.com/international_electricity_factors.html. Acesso em: 01 mar. 2024.

ANP. Painéis Dinâmicos Sobre Exploração e Produção de Petróleo e Gás. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/painel-dinamico-de-emissoes>. Acesso em: 01 mar. 2024.

Moreira dos Santos, R.; Szklo, A.; Lucena, A. F. P.; Miranda, P.E.V.; "Blue Sky Mining: strategy for a feasible transition in emerging countries from Natural Gas to Hydrogen", *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 46, Issue 51, pp. 25843–25859, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921018668>. Acesso em: 06 maio 2024.

IEA [International Energy Agency]. Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity>. Acesso em 06 maio 2024.

A transição de Macaé na consolidação como capital da energia do Rio

Elaborado pela Prefeitura de Macaé

Investir em Macaé é participar do novo ciclo econômico, industrial e sustentável do Brasil!

A nova visão de mercado, alinhada à política pública criada através do relacionamento estabelecido com o mercado do óleo, gás e da energia permite a Macaé assumir a responsabilidade em manter a segurança energética nacional, ao se tornar o principal polo de transformação do gás natural em combustível que alimenta a expansão de diferentes vertentes econômicas do país.

Do fóssil ao renovável, a energia que move Macaé é o que impulsiona, hoje, o novo ciclo econômico do estado do Rio de Janeiro e do Brasil. Das atividades e operações que surgem do mar, a cidade se estruturou para atender à nova demanda do mercado de energia, que ainda investe no potencial geológico das primeiras áreas de exploração de petróleo, como base para financiar a transição energética a partir da força e da abundância do gás, uma realidade que já está presente no território do município que migra da Capital do Petróleo para a Cidade Energia.

Maior *hub* de gás do Brasil, Macaé amplia a infraestrutura instalada para dobrar o volume de processamento e distribuição de gás natural, saltando dos atuais 20 para 40 milhões de metros cúbicos de gás nos próximos quatro anos, uma previsão baseada também em outros ciclos do petróleo que trouxeram para o nosso território sistemas e linhas que estreitam a distância entre a nossa costa e os principais polos de produção de óleo e gás das Bacias de Campos, de Santos e também do Espírito Santo.

Com o relacionamento construído de forma institucional com as empresas do segmento, Macaé vive hoje o resultado de um plano estratégico criado com objetivo de modernizar, ampliar e tornar o marco regulatório do petróleo nacional mais seguro e competitivo, o que nos traz hoje a participação de grandes operadoras globais de energia, que compartilham com a Petrobras investimentos importantes, como o desenvolvimento do Projeto Raia, que prevê a construção do novo gasoduto que transportará os cerca de 16 milhões de metros cúbicos de gás a serem produzidos a partir de 2028 no "megacampo" do pré-sal da Bacia de Santos.

E com esta visão em ser a protagonista da sua própria história de referência para o mercado do petróleo nacional, Macaé batalhou para garantir, junto aos governos federal e estadual, novas tributações sobre as operações do gás, reduzindo a incidência de impostos que garantem maior competitividade aos projetos de instalação de usinas termelétricas que disputam os leilões da ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica.

Surge a partir disso o "Parque Térmico Sudeste", complexo de 11 projetos de usinas termelétricas movidas ao gás natural processado em nosso território, que ofertará ao Brasil a segurança energética capaz de alimentar o novo ciclo industrial construído a partir da nova visão de crescimento da nossa nação. A primeira unidade, a UTE Marlim Azul, opera desde 2023 com capacidade de produzir 565 MW de energia e representa a consolidação de um investimento de cerca de R\$ 2,5 bilhões em tecnologia e inovação.

E do mar também surge para Macaé a oportunidade de ser a base para o desenvolvimento de projetos para a produção de energia limpa com fontes renováveis, através da instalação do Complexo Eólico *Offshore*, atualmente em fase de licenciamento no Ibama, com potencial de produção de 2,8 GW de energia.

Com o Tepor – novo porto, Macaé será base de instalação de uma nova UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural, além de terminais de apoio para a logística *offshore* e de transporte de cargas em geral. Esse empreendimento simboliza a ampliação da infraestrutura da cidade em apoio às demandas do mercado de energia, moldando com o tempo a vocação do município em seguir como base operacional para a verdadeira transição energética já implementada no Brasil.

Estratégica para o desenvolvimento de novos projetos das principais operadoras de energia do mundo, Macaé está pronta para ser o principal destino de investimentos em projetos preparados para acompanhar a tão esperada industrialização do estado do Rio de Janeiro, com viabilidade para instalação de plantas de produção de gás natural liquefeito, fábrica de fertilizantes nitrogenados, indústria petroquímica e de componentes necessários à dinâmica *offshore*.



Em quatro décadas de operações do petróleo, do gás e da energia, aprendemos a respeitar e a potencializar a nossa vocação em assegurar ao Brasil a referência como uma das maiores nações petrolíferas do mundo, agregando a nossa história o conhecimento, a expertise, a tecnologia e a inovação produzidas pelas grandes operadoras de óleo e gás, que participam deste novo ciclo de expansão da nossa cidade.

Esse reconhecimento nos faz trabalhar e desenvolver também um ambiente de negócios cada vez mais favorável a novas oportunidades em segmentos que fortalecem a tomada de decisões das grandes operadoras que participam hoje da construção dessa nossa infraestrutura direcionada ao mercado nacional de produção de gás e geração de energia.

Por isso, registramos hoje a maior rede de Saúde Privada da região, com investimentos na construção de novos hospitais que pertencem a grandes redes em operação nacional. Ampliamos a nossa rede de segurança pública, a partir da instalação de bases das Polícias Civil e Militar, em parceria com o governo do estado.

Investimos no potencial do nosso turismo, a partir da qualidade de serviços já instalados diante da demanda do mercado de óleo, gás e energia, como a segunda maior rede hoteleira do estado.

Estabelecemos convênios com instituições de ensino superior que desenvolvem estudos e pesquisas necessários à manutenção da qualidade de vida da nossa população, atendendo também às demandas do próprio mercado da energia, uma expertise presente na formação e expansão da Cidade Universitária, o nosso complexo acadêmico composto por campus da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFF – Universidade Federal Fluminense e a FeMASS – Faculdade Municipal de Macaé Professor Miguel Ângelo da Silva Santos.

Em atendimento às diretrizes da ESG, buscamos o compromisso com os ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, através da criação das Secretarias de Igualdade Racial e de Políticas Públicas para as Mulheres, e das metas de gestão criadas a partir do programa Macaé + 20, um estudo ampliado sobre a previsão de expansão da cidade a partir do novo ciclo econômico, e os investimentos necessários para o desenvolvimento social e sustentável para as próximas duas décadas.

E através da contribuição de muitos que acreditam em nosso potencial, estamos construindo juntos um novo futuro para a cidade que já lidera a geração de empregos na região e participa de debates importantes sobre as novas etapas do mercado de energia no país e no mundo!

Os desafios para a implementação do maior hub de integração energética do Brasil

Elaborado pela Prumo Logística

O processo de transição energética e descarbonização da economia mundial, que ainda está em seu início, é uma daquelas janelas de oportunidade para grandes saltos de desenvolvimento e prosperidade que ocorrem com pouca frequência na história. E, diferente dos outros momentos, nesse o Brasil tem muita condição de se beneficiar. A questão é se vamos conseguir surfar essa onda ou se iremos desperdiçá-la.

Para aproveitá-la de forma mais ampla, é preciso um esforço coletivo, de entes públicos e privados, nas esferas federal, estadual e municipal, nos setores Executivo, Legislativo e Judiciário. E essas forças precisam estar alinhadas para serem mais eficientes. O Poder Público precisa tomar as rédeas da coordenação nas questões tributárias e de regulação, que dão a segurança jurídica fundamental para atração de investimentos privados (seja de capital nacional e/ou estrangeiro). Será necessário utilizar os estímulos à inovação, à pesquisa e desenvolvimento já existentes de forma mais ágil, além de priorizar os setores nos quais o país pode ser competitivo. Será que conseguiremos ter capacidade de articulação e organização para isso?

Há um consenso no mundo de que o futuro do planeta e o crescimento econômico não podem mais ser dissociados das questões ambientais e climáticas. Portanto, é preciso descarbonizar a economia. Os combustíveis fósseis não renováveis, como o carvão, o gás e o petróleo, foram os grandes propulsores do desenvolvimento do planeta nos últimos séculos, mas a meta firmada no Acordo de Paris, em 2015, é zerar as emissões de carbono até 2050. Nessa mudança de modelo, como em tudo que há alguma regulação do mercado, o custo é uma questão chave. A energia limpa e renovável deve ser rentável. O que nem sempre é o caso, seja por sua escassez, seja pela dificuldade de utilização. A saída tem sido subsidiar fortemente a transição, dando incentivos para o uso de energia limpa e penalizando o uso de combustíveis que provoquem a emissão de carbono na atmosfera.

Por diversas razões, o Brasil está à frente nessa corrida. Mas, particularmente, porque já tem uma matriz energética e elétrica das mais limpas do mundo e possui uma abundância de recursos renováveis necessários para a produção de hidrogênio verde, como a energia solar e eólica, e limpos, como a hidrelétrica, com a vantagem de que toda essa capacidade de geração está interligada por um sistema integrado de transmissão. O Brasil tem a possibilidade de cumprir suas metas climáticas, ser competitivo no novo mercado e ainda ajudar outros países nesse processo, se beneficiando economicamente disso.

Historicamente, as maiores e mais desenvolvidas economias do mundo se industrializaram tendo acesso à energia barata. Mas esse acesso pode não ser suficiente. É preciso saber usar e incorporar essa energia às cadeias produtivas, descarbonizando a produção industrial nacional. Há setores em que as perspectivas são particularmente promissoras, como a descarbonização do setor siderúrgico, os e-combustíveis (e-metanol) e o de fertilizantes.

Essa transição para uma nova economia descarbonizada é uma oportunidade para o Brasil conquistar uma posição de destaque global nas novas cadeias de valor que irão se formar e no adensamento das cadeias em que o país já está presente, seja como consumidor ou exportador. Com custos competitivos de energia limpa e renovável, poderemos atrair novos investimentos, novas tecnologias, gerando milhares de empregos e possibilidade de ganhos significativos na balança comercial ao adicionar valor a *commodities*.

Essa perspectiva é o que nos move no Porto do Açu. Maior complexo porto-indústria de águas profundas da América Latina, o Porto do Açu é o único totalmente privado e com foco na transição energética e no desenvolvimento da industrialização de baixo carbono no Brasil. Segundo maior porto do país em movimentação de carga, atrás apenas do de Santos, o Açu é administrado pela Porto do Açu Operações, uma parceria entre a Prumo Logística e o Porto de Antuérpia. Ocupa uma área de 90 km² em São João da Barra, no norte do estado do Rio, na parte central do litoral da Região Sudeste, responsável por 54% do PIB nacional.

O processo de transformação do Açu no maior *hub* de integração energética do Brasil tem sido bem sucedido. O porto já responde por 35% das exportações de petróleo bruto; oferece a maior base de apoio a plataformas de óleo e gás no planeta; abriga o maior parque termelétrico da América Latina; e é o escoadouro do maior mineroduto do mundo, com 529 km de extensão. Mas a Prumo aposta no hidrogênio verde como insumo fundamental para a descarbonização da indústria. Ele pode ser usado na produção de fertilizantes verdes, metanol renovável e HBI – *hot briquetted iron* (ferro briquetado a quente) a ser empregado nos alto-fornos siderúrgicos.

Por isso, o Açu estuda, com parceiros, a implantação de uma unidade de produção de HBI, que reduziria em até 25% as emissões de CO₂ do setor siderúrgico. O porto tem projetos de energia eólica e solar, para aproveitar a área de boa irradiação solar e a excelente quantidade, velocidade e constância de ventos na área *offshore* próximas ao porto. Também há projetos em desenvolvimento para produção de biometano e CO₂ biogênico nas imediações do porto que podem abastecer unidades de produção de e-metanol dentro do porto do Açu.

Temos que apostar no nosso diferencial. Por termos espaço disponível para abrigar um ecossistema industrial, podemos usar a energia renovável como insumo para a industrialização de setores em que o Brasil domina uma cadeia produtiva, como o setor siderúrgico; o de fertilizantes verdes; o de combustíveis limpos ou de baixo carbono, como hidrogênio verde, etanol, biometano, biogás, SAF – combustíveis de aviação sustentáveis. Uma das maiores vantagens do porto-indústria seria justamente prover a infraestrutura e a flexibilidade de disponibilidade, produção e uso de insumos renováveis no mesmo lugar. Oferecemos uma oportunidade que ainda não há equivalente no mundo. E isso aqui, no estado do Rio de Janeiro.

Mas há desafios a serem enfrentados, de ordem interna e externa ao porto, macroeconômicos, mercadológicos e microeconômicos. O primeiro, estrutural, é a capacidade de trazermos investimentos externos para o Brasil. Alguns fatores apontados como obstáculos são velhos conhecidos nossos. Podemos citar a insegurança jurídica, a pouca regulação do setor, a taxa de juros e de câmbio e o custo Brasil. Essas são dificuldades que afetam a todos os estados da federação.

Outro obstáculo relevante é que não temos, como país, a mesma capacidade fiscal dos EUA – Estados Unidos da América e da Europa para subsidiar esse processo de transição energética. Europeus e estadunidenses criaram arcabouço regulatório, legislação favorável e separaram centenas de bilhões de dólares em incentivos diretos e indiretos para desenvolvimento e expansão de novas tecnologias para a descarbonização.

No mercadológico, há vantagens e desvantagens. Começando pelo principal aspecto favorável, temos uma imensa disponibilidade de fontes de energia renovável e limpa, que estão ligadas ao SIN - Sistema Interligado Nacional, e essa energia é produzida e distribuída a um custo médio competitivo. O aspecto mercadológico mais desfavorável é a distância do Brasil para os grandes centros consumidores mundiais.

Há também alguns gargalos de logística e infraestrutura, regional e nacional, por exemplo. E o estado do Rio de Janeiro ainda não conta com uma ZPE – Zona de Processamento de Exportação, que seria o ideal. No entanto, com planejamento, o arcabouço tributário atual permite obter benefícios similares. Em matéria de recursos humanos, o Rio de Janeiro é a unidade da federação com o maior número de centros tecnológicos federais. Temos mão de obra com formação acadêmica robusta e tradição de competência técnica em petróleo e gás, que serão importantes durante a transição.

O Porto do Açu tem outras competências valiosas. Uma delas é a capacidade de diálogo com os órgãos ambientais para obtenção de licença. O fato de termos criado a Reserva Caruara, a maior unidade de conservação privada destinada à preservação da vegetação de restinga no país, é um atestado de nossa preocupação com a sustentabilidade e com o bom equilíbrio de aspectos ambientais, sociais e de governança na gestão de negócios.

As vantagens apresentadas pelo Porto do Açu para implantar o maior *hub* de integração energética do país são significativas. E estamos montando um ecossistema competitivo, baseado em sinergias criando ainda mais valor para o que é produzido no porto. São características que só o Porto do Açu possui.

Estímulo governamental à transição energética – Projeto piloto eólicas offshore

Elaborado pela Seenemar

O estado do Rio, que já é reconhecidamente protagonista na produção nacional de petróleo e gás, agora avança na transição para fontes de energias limpas e renováveis. Por meio da Seenemar – Secretaria de Energia e Economia do Mar, o governo do estado trabalha na elaboração da Política Estadual de Transição Energética, que definirá as diretrizes para a descarbonização da economia e guiará, de forma coordenada, as ações relacionadas ao desenvolvimento de matrizes de energias sustentáveis.

O estado do Rio de Janeiro já conta com várias ações e programas com a temática da transição energética, como a política estadual de mudanças climáticas, o grupo de trabalho de eólica offshore e o Programa Corredores Sustentáveis – estes dois últimos coordenados pela Seenemar. A formulação de uma Política Estadual de Transição Energética permitirá organizar e facilitar a convergência dos objetivos e mecanismos já existentes, que trabalham impulsionando o desenvolvimento sustentável.

Uma das apostas é o projeto-piloto de eólicas offshore. O estado, que conta com 636 km de extensão de litoral – o terceiro maior do país –, saiu na frente e formou um grupo de trabalho para a implantação de um projeto-piloto para impulsionar a execução de projetos de eólicas offshore no Rio. Mais de 60 empresas e associações dos segmentos de óleo, gás, logística portuária, geração de energia e indústrias aderiram ao trabalho liderado pela Secretaria de Energia e Economia do Mar, que contempla a avaliação de variáveis como o desempenho das turbinas, a interface com a fauna e a flora marinha e comunidades pesqueiras, a medição dos ventos e a geração de energia. O projeto-piloto é imprescindível para a verificação, dentro de um ambiente controlado, de fatores como a tecnologia, a possibilidade de redução de custos, a otimização de processos e a identificação das potencialidades do estado para o desenvolvimento de projetos em larga escala.

52

Os representantes das empresas, associações e instituições foram divididos, de acordo com a área de atuação e especialização, em sete grupos de trabalho temáticos para tratar aspectos jurídicos, de licenciamento, de regulação, de financiamento, de tecnologia, de capacitação de fornecedores e institucional – todos com a presença de um representante do governo do estado.

A aposta no segmento é justificada por uma série de fatores competitivos que colocam o Rio de Janeiro em vantagem para a atração de investimentos em eólicas offshore. Os 40 anos de experiência do estado na produção de petróleo em ambiente offshore é um deles: o Rio tem uma cadeia de suprimentos madura, mão de obra capacitada, enorme quantidade de dados e informações referentes ao solo marinho e ao regime de ventos. Também concentra 19 estaleiros – 55% do total existente no país – e uma importante estrutura portuária que engloba o Porto do Açu, Porto de Itaguaí e Porto do Rio de Janeiro, entre outros.

Além disso, o Rio de Janeiro é o segundo maior centro de carga do país, o que representa menor custo com a transmissão de energia gerada pelos parques eólicos. A presença de grandes empresas de petróleo, com destaque para a Petrobras, e de centros de pesquisa de excelência, como o CENPES – Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello, CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica e COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, também representa pontos relevantes. Tudo isso, somado à existência de ventos constantes, faz do estado do Rio de Janeiro o cenário perfeito para o desenvolvimento de eólicas offshore.

Outro fator a ser destacado é o potencial de geração de empregos, já que a transição energética – imprescindível para o desenvolvimento sustentável – precisa também ser justa e inclusiva. Seus benefícios precisam chegar à população. De acordo com a IRENA – *International Renewable Energy Agency* (Agência Internacional de Energia Renovável), para cada MW instalado de eólicas offshore são criados 17 empregos.

Considerando os 30 GW de projetos que estão em processo de licenciamento no Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o potencial de geração de empregos no Rio de Janeiro seria de 510.000 vagas de trabalho diretas e indiretas, com a execução desses projetos.

O projeto-piloto será desenvolvido no litoral norte do estado, a 15 km da costa, nas proximidades do Porto do Açú. Será financiado com verbas de PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação montante que as concessionárias de petróleo e de energia elétrica são obrigadas a investir em projetos inovadores, correspondente a 1% da receita bruta dessas empresas.

Paralelamente ao trabalho que vem sendo realizado nos sete grupos temáticos, a Secretaria de Energia e Economia do Mar conversa com o governo federal sobre as autorizações necessárias para o projeto. A pasta protocolou, em janeiro, a ficha de caracterização de atividades no Ibama, iniciando o processo de licenciamento. Também protocolou junto à SPU – Superintendência de Patrimônio da União o pedido de certidão de disponibilidade de espelho d'água. O documento é necessário para a cessão do polígono onde será construído o projeto-piloto coordenado pelo estado.

O desenvolvimento do projeto-piloto caminhará simultaneamente à aprovação no Senado do marco legal das eólicas *offshore*. A proposta é enquadrar o projeto no conceito de *sandbox* regulatório – ambiente experimental que suspende temporariamente a obrigatoriedade de cumprimento de determinadas normas, permitindo regime diferenciado para o lançamento de produtos e serviços inovadores, mas com o monitoramento e a orientação dos órgãos reguladores.

A meta é colocar em prática o projeto-piloto para que, quando for aprovado o marco legal que regulamenta as eólicas *offshore* no país, o Rio de Janeiro já tenha desenhado as melhores oportunidades e potencialidades, encurtando o caminho até o início da produção eólica *offshore* nos parques, hoje em processo de licenciamento.

Com esse conjunto – ventos constantes e unidirecionais, mapeamento e avaliação das variáveis técnicas e ambiente de negócios com segurança jurídica – o estado tem as condições ideais reunidas para atrair investimentos nacionais e internacionais, consolidando o grande potencial para se transformar em um *hub* de geração eólica *offshore*, e incentivando fabricantes a se instalarem no Rio de Janeiro e atender tanto as demandas internas do segmento como as do mercado internacional.





Centro de Excelência em Energias Renováveis e Eficiência Energética

O Centro de Referência da Firjan SENAI Tijuca foi reconhecido como um Centro de Excelência em Energias Renováveis e Eficiência Energética pela Cooperação GIZ, validando seu **compromisso com a qualidade educacional**.

A instituição oferece uma variedade de cursos especializados, incluindo programas de curta e média duração e cursos técnicos, para atender às necessidades dos profissionais que buscam aprimorar suas habilidades e aumentar sua **empregabilidade**.

Os alunos têm acesso a treinamento teórico e prático em instalações modernas, capacitando-os para **enfrentar os desafios do mercado de trabalho**. Os cursos da Firjan SENAI são uma escolha inteligente para aqueles que desejam impulsionar suas carreiras e contribuir para um futuro mais sustentável.



Para mais informações, acesse o QRcode:



Rotas para descarbonização sustentável no Rio de Janeiro: transição entre fontes, integração e eficiência energética

Elaborado por Firjan SENAI SESI

Embora a mitigação da emissão de GEE – gases de efeito estufa seja uma meta crucial para enfrentar as mudanças climáticas, sua implementação no contexto local apresenta uma série de desafios específicos que precisam ser abordados para alcançar o sucesso. Inicialmente, é saudável reconhecer nossos diferenciais competitivos: temos uma das matrizes elétricas mais sustentáveis de todo mundo, com praticamente 85% de origem renovável (EPE, 2023) e, no consumo de combustíveis, já temos larga experiência na utilização de biocombustíveis.

Não obstante a esses diferenciais, o Brasil é destaque mundial na produção de petróleo e gás, tendo o Rio de Janeiro como *hub* atual e futuro dessa produção. Em 2023, o estado do Rio produziu 85,59% de toda produção de óleo do país, e 72,26% da produção de gás natural (ANP, 2023). Com isso, o Brasil foi o oitavo maior produtor de petróleo do mundo, com 4,16% da produção mundial (EIA, 2023). Esses números solidificam o papel essencial do Rio de Janeiro para o mercado energético do Brasil.

Além disso, de acordo com a *ExxonMobil Global Outlook: Our View to 2050* (2024), a demanda mundial por energia está prevista para atingir aproximadamente 660 quadrilhões de BTU até 2050, marcando um aumento de cerca de 15% em relação aos níveis de 2021. Destaca-se que os países não pertencentes à OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico irão impulsionar significativamente essa demanda, respondendo por 70% do total global. Ademais, é importante ressaltar que o crescimento da demanda global será inteiramente sustentado pelos países em desenvolvimento, que contribuirão com 100% do aumento previsto, de acordo com o *Global Outlook* (2024).

Isso significa que enquanto seguirmos com a aplicação de soluções para ampliar nosso viés de uma economia descarbonizada, implementando novas tecnologias como CCUS – *carbon capture and storage* (captura, uso e armazenamento de carbono), podemos ser provedores de energia para países emergentes que terão sua demanda ampliada e de energia limpa para países como os europeus.

Ademais, a consolidação de novas energias e soluções voltadas para descarbonização, como eólicas *offshore*, hidrogênio e CCUS, pode e já está intrinsicamente ligada ao mercado de petróleo e gás. Os conhecimentos de operação *offshore*, desenvolvimento de infraestrutura e indústria naval são nossas singularidades que devem apoiar o desenvolvimento dessas novas indústrias.

Especialmente para o Rio, a revisão e atualização de políticas energéticas e regulamentos, como a Política Estadual de Transição Energética em construção e liderada pela Seenemar - Secretaria de Energia e Economia do Mar do governo do estado do Rio de Janeiro, deve reconhecer essas particularidades para impulsionar investimentos em energia renovável e remover obstáculos à sua integração na economia do estado. Essa visão é essencial para transferir as expertises para esses novos mercados, proporcionando ganhos através da capacitação, de oportunidades de emprego e do desenvolvimento econômico sustentável.

Potencial do Rio de Janeiro de contribuição na descarbonização

Eólica *offshore*

A costa do estado do Rio de Janeiro é uma das três melhores áreas potenciais para geração de energia elétrica por eólica *offshore* do Brasil. De acordo com estudos do ESMAP - *Energy Sector Management Assistance Program* (Programa de Assistência à Gestão do Setor Energético) do Banco Mundial (2019), a costa sudeste do país, em especial a região norte do Rio de Janeiro, tem ventos médios de 8,5 m/s, com potencial técnico de 67 GW para torres fixas - 14% do potencial técnico brasileiro - e 227 GW para torres flutuantes - 30% do potencial técnico brasileiro.

Em complemento, de acordo com dados do Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2024), o Brasil está avançando no desenvolvimento de projetos de energia eólica *offshore*, com um total de 96 projetos em fase de licenciamento ambiental, como pode ser observado na Figura 1.

Desses projetos, o estado do Rio de Janeiro conta com 14, representando 14,5% do total nacional. Em termos de capacidade potencial, o Brasil possui um montante de 234 GW em projetos em licenciamento, sendo que o Rio de Janeiro contribui com 39 GW, equivalente a 16,6% do total do país. Destes, quando desconsideradas as sobreposições de projetos, chega a 24 GW.

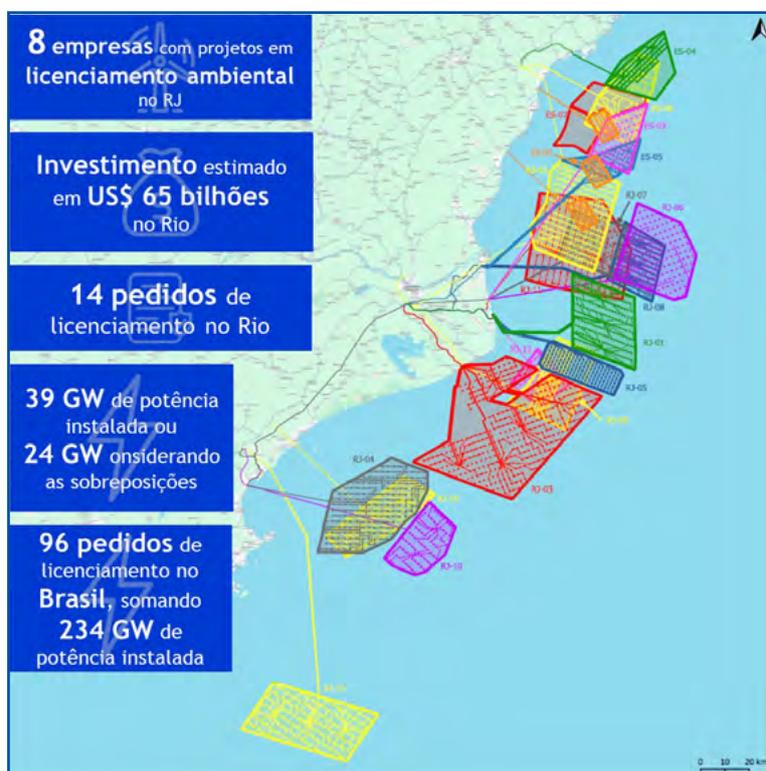
De acordo com dados que podem ser observados na Figura 1, entre as empresas envolvidas nos projetos de eólica *offshore* no estado do Rio de Janeiro, destacam-se Acciona Energy, Bosford, Bluefloat, Equinor, Neoenergia, Shell, Petrobras, Prumo, Total Energies, Ventos do Atlântico e EDF. O investimento conjunto desses empreendimentos atinge a marca de US\$ 60 bilhões.

A distribuição desse expressivo investimento ocorre em diferentes municípios fluminenses, que podem ser vistos também na Figura 1. Campos dos Goytacazes desponta com três projetos e um aporte de US\$ 14 bilhões, seguido por São João da Barra, onde sete projetos estão em licenciamento, totalizando US\$ 32 bilhões em investimentos. Por fim, Rio das Ostras e Macaé, com quatro projetos e investimento estimado em US\$ 19 bilhões.

Dessa forma, observa-se que a implementação de aerogeradores nos oceanos na costa do Rio de Janeiro é uma das alternativas para ampliar a transição e integração energética nacional e estadual. Além disso, é uma opção para produção de hidrogênio renovável de maneira conjunta, o que demonstra o potencial fluminense para produção de hidrogênio no país.

A segurança regulatória continua sendo um desafio significativo para o mercado de energia eólica *offshore*, destacando a importância do desenvolvimento do marco legal específico desse setor para que os investidores possam iniciar os estudos de viabilização. Esses estudos visam identificar, em colaboração com as premissas do planejamento energético nacional, o modelo de negócio mais adequado para a implementação desses projetos. Entre as análises, estão a conexão à rede elétrica, projetos de autoconsumo, geração de eletricidade na produção de petróleo e gás natural, ou, até mesmo, o processo de "elétron para molécula", como a produção de hidrogênio.

Figura 1 - Potencial em investimento em eólica *offshore* no Rio de Janeiro – projetos em licenciamento ambiental⁵.



Fonte: elaboração Firjan a partir de dados do Ibama (2024) e EPE (2024).

⁵ Considerando o ponto de conexão do projeto apresentado no mapa pelo Ibama.

Hidrogênio

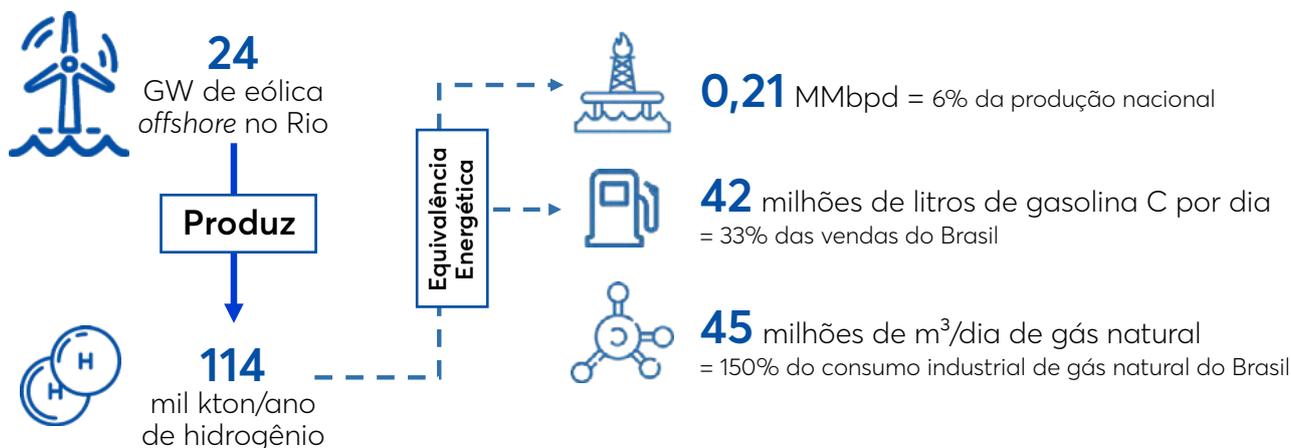
O hidrogênio é uma solução energética que tem papel chave na descarbonização, podendo ser obtido a partir de diversas fontes, incluindo combustíveis fósseis, biomassa e eletrólise da água. De acordo com a IRENA – *International Renewable Energy Agency* (Agência Internacional de Energia Renovável) (2019), atualmente, a produção global de hidrogênio é de aproximadamente 70 milhões de t/ano, representando cerca de 2% da demanda total de energia primária para sua produção, sendo o gás natural e o carvão mineral as principais fontes, com 75% e 23%, respectivamente.

As projeções indicam que, em 2050, a demanda por hidrogênio será de 585 milhões de t/ano (MCKINSEY, 2024), o que representa um crescimento de mais de 800% em relação a 2019. Esses dados ressaltam a crescente importância do hidrogênio como uma alternativa energética sustentável.

No Rio, o hidrogênio já é produzido em refinarias de petróleo e como parte do processo de geração de eletricidade por energia nuclear. Como potencial, seria possível produzir diretamente com gás natural – o qual poderia combinar com projetos de captura e armazenamento de carbono para redução da pegada de carbono do hidrogênio – e a partir de projetos integrados de energia renovável. O segundo modelo está em estudo, principalmente da região do Porto do Açu, combinando fontes fósseis e energia renovável, incluindo o potencial de eólicas *offshore*.

Considerando o potencial identificado nos projetos de energia eólica *offshore* no estado do Rio de Janeiro em licenciamento, identifica-se um potencial significativo para a produção de hidrogênio e estimado em 4 milhões t/ano. Para fins de comparação, conforme apresentado na Figura 2, esses 4 milhões t/ano de hidrogênio equivalem, energeticamente, a 42 milhões de litros/dia de gasolina C ou 45 milhões de m³/dia de gás natural.

Figura 2 - Equivalência do potencial no Brasil: hidrogênio, petróleo, gasolina e equivalência em gás natural⁶.



Fonte: elaboração Firjan a partir de dados do Ibama (2024), EPE (2019), Porto do Açu (2023), Petrobras (2023), MME (2023), ANP (s.d.).

No estado do Rio, já é identificado um potencial de investimento de pelo menos US\$ 8 bilhões em projetos de hidrogênio, oriundos do desenvolvimento do polo de produção no Porto do Açu, e incluindo a utilização do hidrogênio para produção de fertilizantes e metanol.

Além disso, o Rio de Janeiro apresenta perspectivas promissoras quanto à produção do hidrogênio natural. Estudos ainda estão em desenvolvimento mas, por sua origem geológica, o potencial de contribuição para o processo de descarbonização é ainda maior.

Esse hidrogênio produzido ou explorado a partir de fontes naturais é, também, parte das soluções para descarbonização de transportes, sendo matéria-prima para o desenvolvimento, por exemplo, do combustível sustentável de aviação. Portanto, essa perspectiva representa potencial de avanço significativo na contribuição do estado para a descarbonização e segurança energética da economia brasileira.

⁶ Como base de cálculo, usou-se o valor de 604 kton/ano de hidrogênio por 3,7 GW de geração de eletricidade por eólica *offshore*, do projeto *hub* de Hidrogênio e Derivados de Baixo Carbono, da empresa Porto do Açu Operações S.A., atendendo integralmente e especialmente, à Instrução Técnica INEA nº 02/2023, Processo SEI-070002/002411/2023 e às demais resoluções aplicáveis ao processo de licenciamento ambiental.

Destaca-se, ainda, a importância de, no processo de construção desse mercado, sopesar o direcionamento dos investimentos e estímulos para atendimento da demanda também interna, evitando que benefícios exclusivos para viabilizar a exportação se tornem custos internalizados para a sociedade e nossas indústrias.

Biocombustíveis

O Brasil, com sua rica herança de biocombustíveis, traçou um caminho promissor ao longo das décadas. Hoje o país já tem consolidado a mistura/mandato de etanol na gasolina e do biodiesel no diesel, assim como apresenta uma cultura consolidada de abastecimento direto de etanol hidratado como combustível. Além do programa RenovaBio, um plano abrangente para impulsionar ainda mais a produção e o uso sustentável de biocombustíveis, viabilizando a precificação e benefício financeiro da comercialização desses combustíveis.

O Rio de Janeiro se destaca como um exemplo notável de eficiência ambiental no setor de transportes, exibindo indicadores de emissões de dióxido de carbono abaixo da média nacional. Comparado aos estados do Sudeste, o Rio se destaca por apresentar a menor emissões per capita de CO₂ e o quarto menor fator de emissão de CO₂ por tep no setor de transportes no Brasil, registrando apenas 2,46 tCO₂/tep.

É importante destacar que o Rio se destaca como o principal consumidor de GNV no Brasil. Apenas no primeiro semestre de 2023, o consumo fluminense representou mais de 56% do total nacional, e mais de 82% do consumo total dos estados do Sudeste. Caso esse alto consumo de GNV fosse substituído por gasolina comum, as emissões do estado aumentariam em 4%. Esses números ressaltam a importância estratégica da escolha de combustíveis de baixa emissão para mitigar os impactos ambientais do transporte.

Atualmente, está em discussão no Congresso o Programa Combustível do Futuro, Projeto de Lei nº 258, de 2021, que busca criar as bases para ampliar o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis no país, incluindo elevar os mandatos para o etanol e biodiesel, além de estabelecer um mandato para o SAF – *sustainable aviation fuel* (combustível sustentável de aviação) entre 1% e 10%. Além disso, um mandato para o diesel renovável/HOV – *hydrotreated vegetable oil* (óleo vegetal hidrotratado) está em fase de definição.

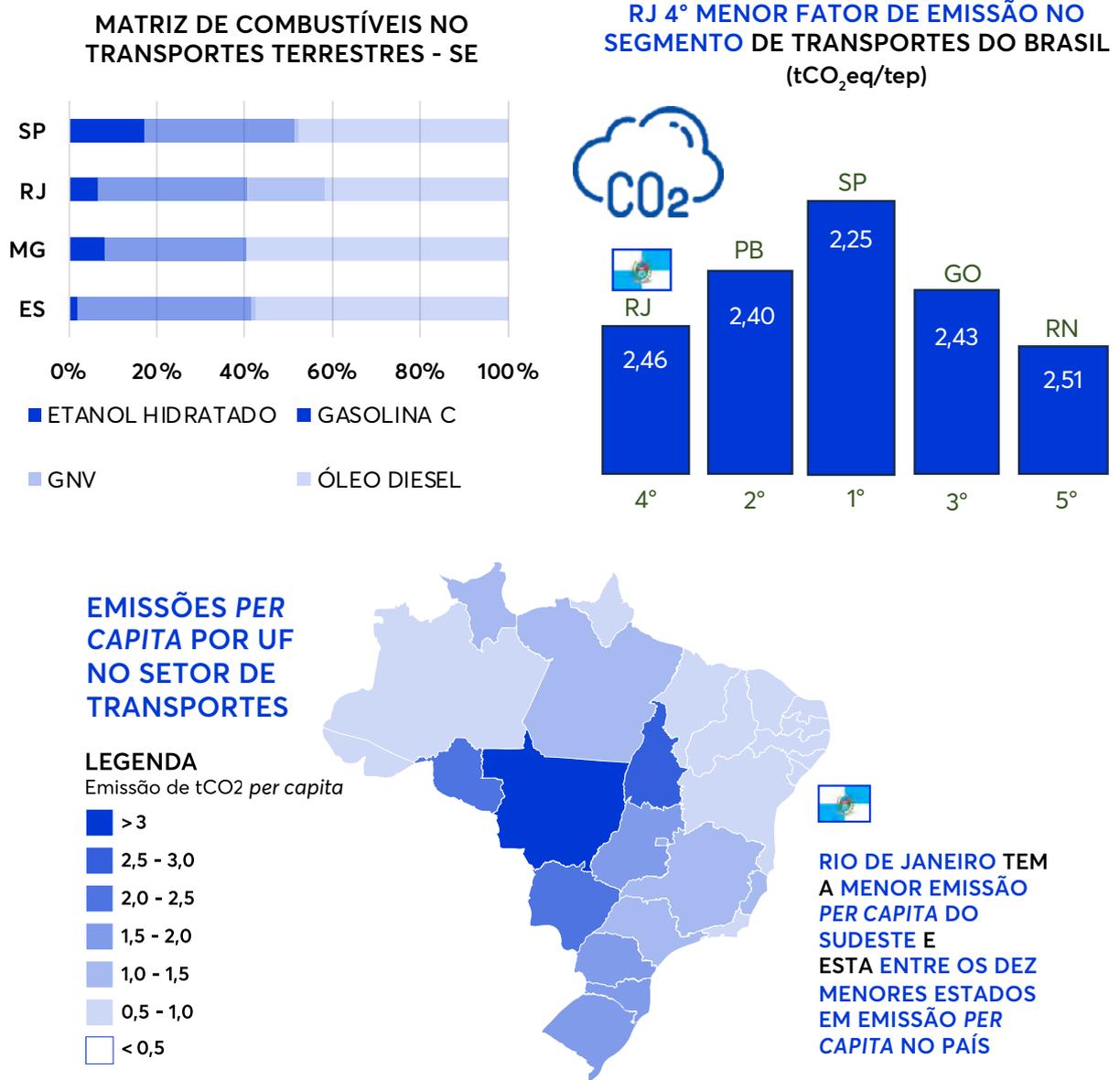
Também é pauta desse Projeto de Lei o desenvolvimento do biogás e biometano. Com regulação que já garante a sua miscibilidade ao gás natural, o biometano pode ser produzido a partir de diversas fontes – incluindo rejeitos orgânicos e de saneamento, sendo um potencial de solução de curto prazo para a descarbonização. Não por menos, o Brasil, em conjunto com os Estados Unidos e a Índia, fundaram a GBA - *Global Biofuels Alliance* (Aliança Global para Biocombustíveis), em 2023, visando cooperação internacional para enfrentar os desafios globais relacionados à energia e ao meio ambiente.

Em linha com esses avanços, de acordo com a Petrobras (2024), as unidades para produção de Diesel R⁷ incluem a REPAR – Refinaria Presidente Getúlio Vargas, em Araucária, Paraná, que já está em plena operação, e a RPBC – Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, São Paulo, atualmente em fase de pré-operação. Além dessas, aguardam-se as operações da REPLAN – Refinaria de Paulínia, em Paulínia, São Paulo; e da REDUC – Refinaria Duque de Caxias, em Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

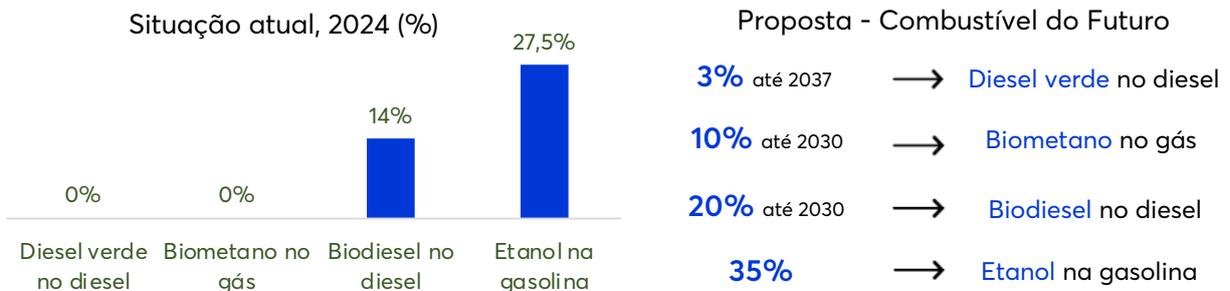
Adicionalmente, a Petrobras anunciou planos para implementar estruturas de produção de BioQAV – bioquerosene de aviação em duas refinarias: a RPBC, em Cubatão, São Paulo, e o GasLub, em Itaboraí, Rio de Janeiro. Portanto, conforme projetos anunciados, o Rio de Janeiro está programado para se consolidar como um importante polo na produção de biocombustíveis, nos próximos anos. Dessa forma, contribuindo para o papel do Rio na descarbonização da economia, complementando o seu papel já crucial no abastecimento nacional de combustíveis de origem fóssil.

⁷ Diesel Renovável.

Figura 3 - Avaliação das emissões de dióxido de carbono equivalente total pela venda de combustíveis no segmento de transporte terrestre por estado do Brasil⁸.



MANDATOS DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL



Fonte: elaboração Firjan a partir de dados EPE (2022), EPE (2007), IPCC (2006), ANP (2023) e IBGE (2023).

⁸ O fator de emissão de CO₂ foi estudado de acordo com a metodologia do Informativo Técnico n. 011/2022 – EPE; por ser um biocombustível, considera-se o etanol com zero emissões de CO₂, os dados do GNV – gás natural veicular são referente ao 1º semestre de 2023 e não há dados sobre uso de biometano; tep = tonelada equivalente de petróleo; tCO₂ = tonelada de gás carbônico.

Desafios e oportunidades para a descarbonização

O estado do Rio de Janeiro se destaca pela sua riqueza em diversidade energética, sendo um dos poucos estados da federação a abranger em sua matriz uma variedade de fontes, incluindo solar, eólica, hídrica, térmica a gás e nuclear. Vale ressaltar que é o único estado da federação a gerar eletricidade a partir de termelétrica nuclear, a partir das usinas da Eletronuclear, em Angra dos Reis.

Além disso, o estado possui potencial significativo em energias renováveis, por exemplo, a eólica *offshore*, o hidrogênio e os biocombustíveis, como visto nas seções anteriores. Esse potencial se reflete nas perspectivas de investimento no estado. De acordo com o Painel de Projetos de Energia do Rio de Janeiro, elaborado pela Firjan, em parceria com o Governo do estado do Rio de Janeiro, ApexBrasil – Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos e a ONIP – Organização Nacional da Indústria do Petróleo, os investimentos potenciais relacionados às energias renováveis representam em torno de 40% do total mapeado para os mercados de óleo, gás, energia e naval.

Os projetos de eólicas *offshore* e hidrogênio, que ultrapassam US\$ 70 bilhões de investimentos, por exemplo, se traduzem – além dos reflexos em dinamização da economia como um todo - na demanda potencial por mais de 1 milhão de postos de trabalho ao longo da sua implementação. Essa vasta gama de fontes energéticas, embora promissora à primeira vista, também apresenta um grande desafio. O obstáculo reside na gestão eficiente dessas fontes, com o objetivo de promover sustentabilidade ambiental, segurança no abastecimento, acessibilidade dos custos e justiça social.

É fundamental uma abordagem integrada e colaborativa entre os setores público e privado para enfrentar esses desafios e garantir um futuro energético sustentável para o estado do Rio de Janeiro. Essa visão é crucial para evitar processos de transição energética divergentes ao cenário brasileiro, o que pode acarretar custos adicionais e desnecessários, afetando a competitividade do país.

O Brasil já é destaque mundial no aspecto de descarbonização. Além de diversas iniciativas em curso, temos uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, com aproximadamente 50% da matriz de origem renovável. Isso não significa que ainda não tenhamos espaço para implementar novas soluções, mas estamos em um posicionamento diferenciado no que concerne à harmonização da descarbonização da economia com a contínua crescente demanda por energia.

Dessa forma, o Brasil poderia continuar oferecendo produtos cada vez mais sustentáveis e alinhados com as exigências do mercado global em crescimento. Mas, nesse processo, deve-se garantir que essas novas soluções não impliquem em custos ainda maiores para nossa economia. Portanto, que sejam catalisadores do desenvolvimento sustentável e competitivo do nosso país.

Figura 4 - Avanços e desafios da agenda de transição energética.

Avanços e Desafios da Agenda de Transição Energética

QUESTÕES LEGISLATIVAS



EÓLICA OFFSHORE: o PL 576/21, iniciado no Senado Federal, teve substitutivo aprovado na Câmara em 2024 e retornou ao Senado. É crucial que as disposições do PL que não forem relacionadas à energia eólica *offshore* não sejam atribuídas ao PL, como os subsídios para a geração de energia a partir do carvão mineral. Dessa forma, o progresso da tecnologia de geração elétrica nos oceanos poderá ser desenvolvido de modo consistente e sustentável.



HIDROGÊNIO: o PL 2.308/23 teve seu início na Câmara dos Deputados e no mesmo ano foi encaminhado ao Senado para apreciação. Os incentivos, sejam eles fiscais, financeiros ou políticos, desempenham um papel crucial na criação de ambientes propícios ao desenvolvimento de novas tecnologias para o hidrogênio. No entanto, é fundamental que esses incentivos sejam parte de planos estruturados, que contemplem não apenas o início, mas também o fim das políticas de estímulo. Isso é essencial para garantir que os novos mercados emergentes se tornem economicamente sustentáveis e não gerem ônus desnecessários para a sociedade.



BIOCOMBUSTÍVEIS: o PL 528/20, popularmente conhecido como "Combustível do Futuro", está em apreciação do Senado Federal e permanece aguardando a realização de audiência pública antes de avançar para as próximas etapas do processo legislativo. Vale ressaltar que os mandatos dos biocombustíveis são uma ferramenta eficiente para o desenvolvimento do mercado de combustíveis de baixa emissão de carbono; contudo, é importante destacar que as obrigações de mistura de biocombustíveis não podem onerar a indústria e a população.



OUTROS: o Congresso Nacional está atualmente debatendo outros temas além dos supracitados, como o Mercado de Carbono, o PL 2.148/15 e o CCUS (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono), PL 1.452/22.

DESAFIOS DE MERCADO



CUSTO INICIAL ELEVADO: muitas tecnologias e soluções sustentáveis, como a energia eólica *offshore*, hidrogênio e biocombustíveis avançados, podem exigir investimentos significativos em infraestrutura e pesquisa e desenvolvimento. A indústria pode enfrentar dificuldades para mobilizar os recursos financeiros necessários para adotar essas tecnologias, especialmente se houver incertezas sobre o retorno do investimento a longo prazo.



COMPETITIVIDADE INTERNACIONAL: a adoção de medidas mais rigorosas de sustentabilidade pode aumentar os custos de produção para as indústrias, tornando-as menos competitivas em relação a outros países. Isso pode criar desafios para a indústria em termos de manutenção de sua competitividade global e pode exigir políticas de incentivo ou proteção para nivelar a competição do mercado internacional.



ADAPTAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA: a transição para práticas mais sustentáveis muitas vezes requer mudanças significativas na cadeia produtiva, desde a obtenção de matéria-prima até o processo de fabricação e distribuição. A indústria pode enfrentar desafios na adaptação de suas operações para acomodar essas mudanças, especialmente se envolverem a reestruturação de processos estabelecidos ou a adoção de novas tecnologias. Portanto, é importante que haja desenvolvimento de capacidade industrial para fornecimento de bens e serviços que serão demandados no novo cenário.



CAPACITAÇÃO E TECNOLOGIA: além de demandar o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções sustentáveis inovadoras, o que explicita a necessidade de adaptação de nossos institutos de tecnologia muitas vezes requer habilidades e conhecimentos específicos que podem não estar disponíveis na força de trabalho existente da indústria. Garantir que os trabalhadores tenham acesso a treinamento e capacitação adequados para operar e manter essas tecnologias é fundamental para o sucesso da transição sustentável e justa.

Referências bibliográficas

ANP. Encarte de Consolidação da Produção 2023 – Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural, 2023. Disponível em: www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2023/encarte-boletim-dezembro.pdf. Acesso em: 09 abr. 2024.

CLIMATE GROUP. Policy Report – Financing the Energy Transition: How Governments Can Maximise Corporate Investment. Climate Group, 2023. Disponível em: https://www.there100.org/sites/re100/files/2023-11/Financing%20the%20Energy%20Transition%20How%20Governments%20Can%20Maximise%20Corporate%20Investment.pdf?utm_source=Website+report+download&utm_medium=Report&utm_campaign=G20+report+2023&utm_id=G20+report+2023&utm_content=G20+report. Acesso em: 11 mar. 2023.

CNI. Oportunidades e desafios para geração eólica offshore no Brasil e a produção de hidrogênio de baixo carbono. Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2023. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/2a/61/2a61a6a8-abf5-4eea-8328-865725c995a4/id_243190_oportunidades_e_desafios_para_geracao_eolica_web.pdf. Acesso em: 11 mar. 2024.

EIA. Today in Energy – In-Brief Analysis – United States produces more crude oil than any country, ever. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61545#:~:text=Saudi%20Arabia's%20state%20Downed%20Saudi%20Aramco%20recently%20scrapped,b/dj%20of%20global%20oil%20production%20in%202023>. Acesso em: 09 abr. 2024.

EPE. Balanço Energético Nacional (BEN). Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 13 mar. 2024.

EPE. Mudanças climática e transição energética. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia#:~:text=Voltar%20ao%20topo%5D-O%20que%20precisamos%20fazer%20para%20combater%20as%20mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas,f%C3%B3sseis%20por%20outras%20fontes%20energ%C3%A9ticas>. Acesso em: 11 mar. 2024.

EXXONMOBIL. Energy demand: three drivers. ExxonMobil Global Outlook: Our view to 2050, 2024. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/what-we-do/energy-supply/global-outlook/energy-demand#:~:text=Global%20demand%20reaches%20about%20660,needs%20of%20a%20growing%20population>. Acesso em: 13 mar. 2024.

FRACO, Andrei Leandro M.; ANGELONI, Jorge Luiz. Aproveitamento e eficiência energética. Revista Técnico-Científica do IFSC, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/823#:~:text=A%20disponibilidade%2C%20robustez%20e%20confiabilidade,cuja%20disponibilidade%20%C3%A9%20geralmente%20complementar>. Acesso em: 08 mar. 2024.

IBAMA. Mapas de Projetos em Licenciamento Complexos Eólicos Offshore. Licenciamento Ambiental Federal de Complexos Eólicos Offshore, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>. Acesso em: 25 abr. 2024.

ICPAC. Energy and Climate: The Dilemma, Trilemma and Quadrilemma. Medium, 2020. Disponível em: <https://icpac.medium.com/energy-and-climate-the-dilemma-trilemma-and-quadrilemma-839a8d657369>. Acesso em: 11 mar. 2024.

IEMA. Emissões de gases de efeito estufa de usinas termelétricas cresceram 75%. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), 2022. Disponível em: <https://energiiaeambiente.org.br/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-usinas-termelétricas-cresceram-75-20221215>. Acesso em: 11 mar. 2024.

MCKINSEY. Global energy perspective 2023: hydrogen outlook. McKinsey & Company - Oil & Gas, 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook>. Acesso em: 13 mar. 2024.

MME. Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural. Secretaria Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Departamento de Gás Natural, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/publicacoes-1/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural/2023/10-boletim-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural-outubro-de-2023.pdf/view>. Acesso em: 25 abr. 2024.

SEDEERI. Mapa das Energias Renováveis no Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia e Relações Internacionais, 2022. Disponível em: <https://www.seenemar.rj.gov.br/mapa-energia>. Acesso em: 11 mar. 2024.

Firjan SENAI
 **SESI**