

Think Energy

COP 30

Conhecimento que move energia

Nesta edição especial, artigos técnicos, análises e cases de inovação refletem a excelência e o compromisso intelectual do IBP com soluções sustentáveis, integradas e de alto desempenho.

O Brasil no centro da transição energética: a visão do IBP para a COP30

À frente do Instituto, o presidente destaca o papel do setor de óleo e gás na agenda climática e as iniciativas que posicionam o Brasil como protagonista global em energia e sustentabilidade.



Think Energy

COP 30

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I59

Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás e Biocombustíveis (IBP).

Think Energy: COP30 / Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás e Biocombustíveis (IBP). – Rio de Janeiro: IBP, 2025.

79 p. : il. color. ; 30 cm.

Inclui artigos, entrevistas e análises sobre transição energética, financiamento sustentável e mercado de carbono.

1. Transição energética – Brasil. 2. Sustentabilidade ambiental. 3. Financiamento sustentável. 4. Energia renovável. 5. Conferência das Partes sobre Mudança do Clima (COP30: 2025 : Belém, PA).

I. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás e Biocombustíveis.

CDD: 333.79

Índice

06

Editorial

08

**Entrevista | Roberto Ardenghy,
presidente do IBP**

12

**Jovens no centro da discussão sobre a
COP30: Confira o que aconteceu no evento
"Vozes da Transição", realizado pelo IBP**

14

**Financiamento sustentável e a
responsabilidade do setor de O&G
brasileiro na transição energética nacional**

26

**Inovação em movimento: A gente diz sim
ao futuro**

32

Artigos | Congresso da ROG.e

68

**Política energética e sustentabilidade
na COP29 e COP30: principais discussões
e metas**

78

Expediente

Editorial

Grandes revoluções raramente acontecem de forma repentina. Em geral, são fruto de evoluções silenciosas, construídas ao longo de décadas. O debate climático internacional, consolidado nas Conferências das Partes (COPs), segue essa mesma lógica: cada encontro representa um degrau em uma longa escada de negociações, compromissos e aprendizados.

Desde a Rio-92 até a primeira COP, realizada em Berlim em 1995, esse fórum tornou-se o principal espaço de discussão entre os países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). A escolha do Brasil, e em especial da Amazônia, como sede da COP30, é motivo de celebração, mas também um chamado à responsabilidade. Em um cenário internacional de tensões geopolíticas e urgências ambientais, a COP30 pode se tornar um ponto de inflexão. O desafio é: em que direção avançaremos?

Os últimos 30 anos demonstram que, apesar das divergências, ciência, técnica e diplomacia têm produzido avanços relevantes na prevenção e mitigação das crises climáticas. Resultados muitas vezes discretos, mas essenciais para a segurança econômica, energética e ambiental do planeta. O Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) acompanha de perto essa trajetória, promovendo reflexões e soluções que unem conhecimento técnico e compromisso com o futuro.

Belém marca um momento singular. O Brasil retoma o papel de anfitrião e protagonista do debate climático global, reunindo governos, empresas, comunidades, juventudes e sociedade civil. A evolução energética que temos pela frente não é neutra: pode gerar inovação, prosperidade e sustentabilidade, mas também pode acentuar desigualdades se não for guiada por critérios de justiça social e ambiental. Por isso, incorporar a pluralidade de vozes será fundamental.

Nesta edição especial, a Think Energy reafirma sua missão de dar visibilidade ao que se constrói nas comissões técnicas, na academia, em startups e nas arenas multilaterais. O conteúdo transita da análise conceitual da transição justa às políticas de mercado de carbono; da inovação de projetos como o H2R às visões das novas gerações; do programa NAVE às lições herdadas da COP29 sobre financiamento climático.

O fio condutor é claro: a transição energética precisa ser técnica, mas também ética e socioambiental. O Brasil tem a oportunidade de liderar pelo exemplo, articulando ciência, inovação e justiça, com a Amazônia como centro de referência.

A cada edição, a Think Energy reafirma sua vocação como espaço de convergência entre indústria, academia e sociedade. Mais do que registrar debates, buscamos inspirar ações. Pois é no encontro entre análise crítica e engajamento coletivo que se constroem os futuros possíveis.

Que a COP30 seja lembrada não apenas como um marco histórico, mas como o momento em que ousamos alinhar mapas e trajetórias em direção a um futuro mais justo, seguro e sustentável.



Carolina Abreu

Formada em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e especializada em Energias Naturais Renováveis pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Com experiência nas áreas de energias renováveis e gás natural, atua como analista de sustentabilidade no Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP).

Entrevista

Roberto Ardenghy, presidente do IBP



Entrevistador

Roberto Ardenghy

A realização da COP30 em Belém representa um marco histórico para o Brasil. Além de sediar um dos maiores eventos globais sobre clima e energia, o país terá a oportunidade de apresentar ao mundo suas tecnologias, avanços e compromissos de longo prazo com a evolução energética. Qual a importância da participação do setor de óleo e gás nesse processo?

A COP30 precisa ser entendida dentro de um contexto histórico. Ela é parte de um processo global de negociação para implementar a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança Climática, assinada em 1992, no Rio de Janeiro, durante a Eco-92. Naquele momento, foram firmadas duas convenções: a de mudanças climáticas e a de biodiversidade. Ambas criaram sistemas de acompanhamento: as COPs.

O fato de a COP30 acontecer em Belém é uma oportunidade ímpar para o Brasil mostrar sua liderança em sustentabilidade, a limpeza de nossa matriz energética e o compromisso com essa pauta. Para o setor de óleo e gás, é também o momento de apresentar nossos diferenciais globais: captura de carbono no pré-sal, produção de biocombustíveis, tecnologias de eficiência energética, entre outros. Estarão reunidos representantes de cerca de 190 países, e o Brasil terá os holofotes voltados para si e para a sua indústria.



O fato de a COP30 acontecer em Belém é uma oportunidade ímpar para o Brasil mostrar sua liderança em sustentabilidade, a limpeza de nossa matriz energética e o compromisso com essa pauta.

E qual será o papel do IBP especificamente durante a COP30?

O IBP já participa das COPs há mais de uma década, acompanhando os debates no Egito, nos Emirados Árabes e no Azerbaijão. Agora, com a conferência acontecendo no Brasil, nossa responsabilidade aumenta.

Nosso conselho definiu que seremos os representantes da indústria de óleo e gás. Estamos preparando um estudo sobre a transição dos combustíveis fósseis, tema estabelecido na última COP, em Dubai, e levaremos também um inventário de tecnologias e experiências de descarbonização dos nossos associados. Queremos mostrar que a agenda Net Zero não é apenas da sociedade civil, mas também da indústria. A maioria das nossas empresas planeja ser Net Zero até 2050, investindo em compensações e tecnologias de mitigação.

A juventude tem se mostrado cada vez mais engajada na agenda climática e energética. Como o senhor avalia esse protagonismo?

A participação dos jovens é fundamental. São eles que conduzirão a transição energética e precisam garantir que seja justa. Não podemos permitir que países em desenvolvimento sejam penalizados com tecnologias caras para resolver seus problemas energéticos.

Hoje, estudos mostram que ainda falta cerca de 50% dos recursos tecnológicos necessários para atingir as metas globais de transição. Isso exige inovação, conhecimento e novas formas de pensar — e é isso que a juventude traz. Diferente das gerações mais antigas, que muitas vezes estão presas a modelos já ultrapassados, os jovens têm a capacidade de propor soluções disruptivas.

O conhecimento e a sua difusão são motores da transformação do setor de energia. De que forma o IBP atua nesse campo?

O IBP nasceu, em 1957, como um disseminador de informações em um setor ainda incipiente no Brasil. Desde então, nossa missão tem sido trazer referências técnicas, organizar grandes eventos e manter um centro de informação reconhecido.

Nosso desafio hoje é transformar tecnologia em inovação prática. Não adianta pesquisas ficarem restritas a universidades ou teses. Elas precisam gerar valor real. A Rio Pipeline & Logistics 2025 é um exemplo: em sua última edição, tivemos 570 trabalhos técnicos apresentados, todos disseminando conhecimento.

Além disso, o Brasil deixou de ser apenas importador de práticas. Somos líderes em tecnologia, como demonstra o pré-sal, onde produzimos petróleo em águas ultraprofundas com baixíssima emissão de CO₂. Isso nos permite exportar processos e inovações para outros mercados. Nesse sentido, iniciativas como a UnilBP, os programas de P&D e a Editora IBP fortalecem um ecossistema de conhecimento e ampliam o acesso a conteúdos de qualidade.

E no campo da capacitação e da formação da força de trabalho?

Esse é um dos pontos mais críticos. Precisamos treinar, retreinar e capacitar continuamente, sobretudo as novas gerações. Infelizmente, escolas técnicas e universidades não têm entregado profissionais com as competências que o setor exige hoje — desde domínio do inglês até habilidades digitais.

Para compensar esse déficit, criamos a UnilBP, nossa universidade corporativa, que oferece uma ampla gama de cursos para associados e para o mercado em geral. Lá, professores e mentores compartilham conhecimentos atualizados em temas como descarbonização, biocombustíveis, logística e eficiência energética.

Capacitar profissionais é uma urgência. Caso contrário, corremos o risco de viver um paradoxo: termos uma população de mais de 200 milhões de pessoas e, ainda assim, precisarmos importar mão de obra estrangeira por falta de qualificação local. O IBP está comprometido em evitar esse cenário, investindo na formação como pilar do futuro energético sustentável e inclusivo.



O IBP nasceu, em 1957, como um disseminador de informações em um setor ainda incipiente no Brasil. Desde então, nossa missão tem sido trazer referências técnicas, organizar grandes eventos e manter um centro de informação reconhecido.

Você já conhece a Editora IBP?

A Editora IBP é um canal institucional que promove o conhecimento técnico produzido pelo setor de energia, tornando-o acessível à sociedade. Por meio de revistas, livros e publicações digitais, o projeto amplia o alcance de pesquisas, debates e inovações, fortalecendo o diálogo entre indústria, academia e sociedade civil, e contribuindo para uma evolução energética mais justa e transparente.



energia da
EVOLUÇÃO

Presente na nossa vida,
essencial para nosso futuro.



Jovens no centro da discussão sobre a COP30:

Confira o que aconteceu no evento "Vozes da Transição", realizado pelo IBP

A COP30 já é uma realidade no IBP há bastante tempo. Nosso compromisso com a Conferência reflete na promoção de eventos "Pré-COP30", realizados desde o início de 2025 em cidades como Rio de Janeiro, Belém e São Paulo. Ao longo desses encontros, também buscamos trazer para o debate um público muito caro para o IBP: os jovens.

Foi com esse objetivo que, em junho de 2025, o IBP promoveu o evento "Vozes da Transição: Jovens em Diálogo com a COP30", reunindo estudantes de graduação interessados em evolução energética e mudanças climáticas.

A abertura, com mais de duzentas inscrições, ficou a cargo do presidente do IBP, Roberto Ardenghy, que ressaltou a relevância do setor de energia para garantir segurança energética e uma evolução justa, equitativa e ordenada.

Na sequência, Bruno Stukart, Analista de Pesquisa Energética da EPE, conduziu o painel "COP30 no Brasil: O que esperar?". Ele explicou o que é a Conferência, destacou os principais temas em discussão este ano e apresentou avanços já alcançados pelo Brasil na agenda climática. O painel lembrou ainda que a maior parte das emissões brasileiras vem do uso da terra, das florestas e da agropecuária. Em 2022, o setor de energia respondeu por apenas 24% das emissões nacionais — reflexo de uma matriz energética composta majoritariamente por fontes renováveis.

O segundo painel, "Neutralidade de Carbono: O Papel da Transição Energética em Resposta às Mudanças Climáticas", moderado por Otto Caval-



A maior parte das emissões brasileiras está ligada ao uso da terra e à agropecuária. Em 2022, o setor de energia respondeu por apenas 24% das emissões nacionais.



***A juventude não é apenas público da COP30,
é protagonista da evolução energética.***

cante, Analista de Sustentabilidade na Constellation, debateu como a evolução energética pode acelerar o alcance das metas globais de descarbonização.

Participaram da conversa: Cleusa Araújo, Gerente do Programa de Transição Energética da Shell Brasil, que apresentou os Cenários de Energia da companhia e destacou o potencial brasileiro no contexto global; Iuri Pinho, Managing Consultant na ERM, que falou sobre o papel das consultorias na formulação de estratégias eficazes de descarbonização; e Jacopo Iorino, Senior Manager Communication na Equinor, que trouxe como exemplo o projeto Northern Lights, primeira instalação do mundo dedicada ao transporte e armazenamento transfronteiriço de CO₂, iniciativa estratégica para a Noruega atingir a neutralidade de carbono.

Lazáro Ribas, M&A, Strategic Planning and Portfolio Management na Raizen e membro do Comitê Jovem do IBP, também integrou o painel, ressaltando o valor da nova geração para o setor de óleo, gás e energia e o papel transformador dos jovens na evolução energética.

O encerramento ficou por conta do painel "Lideranças Jovens: Transformando o Futuro do Trabalho e da Energia", moderado por Susana Marques, Analista Sênior de Treinamento e Desenvolvimento na Saipem. O bate-papo reuniu Emanuela Santos, Gerente Setorial do Programa de Carbono Neutro na Petrobras; João Gabriel Lima, Coordenador de Meio Ambiente na Ipiranga; e Tamara Fain, Sócia na Catavento Consultoria. Cada um compartilhou sua trajetória profissional, explorando como a juventude pode impulsionar carreiras inovadoras e construir um futuro mais sustentável. O tom inspirador marcou o encerramento do encontro.

***A nova geração traz energia, inovação
e inspiração para transformar o setor.***

Idealizado pelo Comitê Jovem em parceria com a Comissão de Mudanças Climáticas do IBP, o evento reuniu representantes de mais de 60 empresas associadas. Trata-se de uma iniciativa inédita que aproxima os jovens das discussões da agenda climática, e que já nasce com a promessa de se tornar presença frequente no calendário do IBP.

Carolina Abreu
Analista de Sustentabilidade do IBP

Vozes da Transição em números

Mais de

200

inscrições

3

painéis temáticos

Representantes
de mais de

60

empresas
associadas.



Financiamento sustentável e a responsabilidade do setor de O&G brasileiro na transição energética nacional (Comitê Jovem)

Thais Cantadori, Marcello Paixão e Otto Gabriel



Thais Cantadori

Formada em Relações Internacionais (UFRJ) e especializada em Gestão de Projetos (FGV), atua na Gestão do Conhecimento do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), com foco em Pessoas, Cultura e ESG, e aprofundou-se em finanças sustentáveis pelo curso Finanças Climáticas do Amanhã.



Marcello Paixão

Engenheiro Químico (UFF) com MBA em Gerenciamento de Projetos (FGV), é Analista de Comercialização de Petróleo na Repsol Sinopec Brasil, atuando na logística de exportação e operações de offloading e ship to ship.



Otto Gabriel

Engenheiro Ambiental com especialização em Sustentabilidade e ESG (FGV), é Analista de Sustentabilidade na Constellation, focado em emissões de GEE e relatórios, além de liderar a Comissão Voluntária de Diversidade e Inclusão.

1 Introdução

A transição energética é entendida como o processo de substituição gradual das fontes fósseis por fontes renováveis. Para que ela ocorra de forma efetiva, se torna essencial a criação de mecanismos de investimento que assistam a construção de uma matriz mais limpa e sustentável. Nesse contexto, o financiamento sustentável, caracterizado pela mobilização de recursos financeiros que levam em consideração critérios ambientais, sociais e de governança (*European Commission*, [s.d.]), viabiliza a implementação de projetos baixo emissão de carbono e amplia o acesso a tecnologias de geração mais eficientes no ponto de vista energético.

Tais elementos são centrais no enfrentamento das mudanças climáticas e na concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). A crescente urgência em mitigar os efeitos das mudanças climáticas decorre não apenas das evidências científicas, mas também das pressões sociais e regulatórias que demandam ações imediatas. Eventos climáticos extremos que ameaçam o bem-estar humano, riscos à segurança energética e à biodiversidade, além da necessidade de adaptação das economias de um modelo de baixo carbono, tem levado governos, empresas e instituições financeiras a reavaliar seus modelos de desenvolvimento e alocação de capital.

No contexto brasileiro, o setor de Óleo e Gás (O&G) continua sendo um pilar estratégico da economia e da segurança energética nacional, representando cerca de 47% da matriz energética do país e contribuindo com aproximadamente 15% do Produto Interno Bruto (IBP, 2021). Além disso, o setor responde por parcela significativa da arrecadação fiscal, da geração de empregos e do fornecimento de energia. Entretanto, principalmente em um contexto global, esse protagonismo carrega um paradoxo: embora essencial para o desenvolvimento atual, o setor contribui diretamente para a intensificação das mudanças climáticas. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), em relatório publicado em 2018, as emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) mundiais associadas às operações do setor petrolífero - excluindo o consumo final dos combustíveis - somam aproximadamente 5.200 milhões de toneladas de CO₂ equivalente.

Em paralelo, em 2022 as empresas globais de O&G investiram aproximadamente US\$ 20 bilhões em tecnologias de baixo carbono – incluindo renováveis, captura de carbono e hidrogênio verde – valor que representou apenas 2,5% de seus investimentos totais em energia naquele ano (IEA, 2023). A pressão global proveniente da sociedade civil e instituições ativistas climáticas para que as grandes empresas de O&G revejam seus modelos operacionais e passem a reduzir substancialmente sua pegada de carbono cresce e, como resultado, o setor vêm sendo cada vez mais colocado no centro da transição para uma economia de baixo carbono. Assim, a Indústria se vê no centro do debate, e com papel ativo, na adoção de tecnologias limpas, investimentos sustentáveis e práticas alinhadas aos compromissos climáticos internacionais.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), o enfrentamento da crise climática envolve essencialmente duas frentes complementares: a redução das emissões de gases de efeito estufa (mitigação) e o fortalecimento da resiliência das sociedades e ecossistemas frente aos impactos já em curso (adaptação). Ambas as linhas demandam elevados volumes de investimento, especialmente em países em desenvolvimento, que combinam maior vulnerabilidade climática com menores capacidades institucionais e financeiras para responder aos desafios. Nesse contexto, o financiamento sustentável surge como um instrumento essencial para viabilizar a transição para uma economia de baixo carbono (SAFATLE; CABRAL, 2015).

Este artigo, elaborado por representantes do Comitê Jovem do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, propõe uma análise crítica sobre a aplicação desses mecanismos no setor de Óleo e Gás (O&G) brasileiro, examinando sua responsabilidade na transição energética e os

principais desafios enfrentados para atender às crescentes demandas climáticas globais. Além disso, refletiremos ao final sobre como a transição energética pode ser um vetor de engajamento e atração de novos talentos, especialmente entre as gerações Z (nascidos entre o final dos anos 90 e final dos anos 2000) e Alpha (nascidos a partir da década de 2010), que têm demonstrado crescente preocupação com sustentabilidade, propósito e inovação (Pew Research Center, 2021).

2 Desenvolvimento

Frente à crescente onda de descarbonização e à aceleração da transição energética global, intensificada pelas metas do Acordo de Paris, o setor de óleo e gás tem sido constantemente desafiado. Firmado na COP21 em 2015, o Acordo estabeleceu o compromisso global de limitar o aquecimento da Terra a bem abaixo de 2 °C, com esforços para restringi-lo a 1,5 °C. Para isso, cada país deve apresentar e revisar periodicamente suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), ampliando progressivamente o nível de ambição climática (UNFCCC, 2015). Embora não imponha obrigações diretas às empresas, o Acordo molda o ambiente regulatório, financeiro e de mercado no qual elas atuam, pressionando o setor privado a alinhar seus modelos de negócio às metas globais de neutralidade de carbono.

No Brasil, o papel ganha ainda mais complexidade, considerando ambas a relevância econômica do pré-sal e os compromissos climáticos assumidos internacionalmente. Além disso, o Brasil se distingue das principais potências emissoras, como Estados Unidos e China, no que se refere às origens das emissões de CO₂: ao contrário desses países, a exploração e produção de petróleo e gás não constitui nossa principal fonte de emissões gases de efeito estufa (Carbon Brief, 2021).

De acordo com um estudo divulgado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente em 2023, "do total de emissões brutas, a maior parte (46%) se refere ao setor de mudanças no uso da terra, seguida pelas emissões do setor de agropecuária (28%)," e, apenas em terceiro, energia e processos industriais e uso de produtos (PIUP) com 22%. O Instituto também relatou que:

Em 2023, as emissões somadas dos setores de energia e PIUP apresentaram uma redução de 2,6 milhões de toneladas de CO₂, representando uma diminuição de -2% em relação ao ano de 2022. Essa queda reflete um movimento geral de diminuição das emissões nos dois setores, considerando tanto a queima de combustíveis para a obtenção de energia quanto os processos industriais e o uso de produtos.

Embora o percentual ainda seja alto, os dados também reforçam o potencial do setor brasileiro em liderar o processo de transição energética mundial, especialmente diante da abundância dos recursos naturais e da consequente matriz energética diversificada. Segundo André Osório, diretor do Departamento de Informações e Estudos Energéticos do Ministério de Minas e Energia, "a matriz elétrica brasileira é uma das mais renováveis do mundo, com uma proporção de 48%, indicador mais de três vezes superior ao mundial" (MME, 2022).

2.1. Barreiras: desafios e limitações do setor.

O primeiro grande desafio enfrentado pelo setor de O&G está em sua própria estrutura produtiva: altamente intensiva em carbono, com ativos físicos e modelos de negócio historicamente voltados à exploração de combustíveis fósseis. Essa realidade estrutural torna mais complexa a adaptação para a incorporação de tecnologias limpas e modelos híbridos de energia (IEA, 2024).

Nesse contexto, uma das estratégias adotadas para conciliar eficiência operacional e mitigação parcial de impactos tem sido a aquisição e revitalização de ativos maduros. Esse modelo de negócio baseia-se na extensão da vida útil de campos já em produção por meio de ganhos de eficiência e da

aplicação de tecnologias avançadas de recuperação, o que permite reduzir a pegada de carbono associada à abertura de novos projetos e incorporar práticas modernas de gestão de emissões, como o controle de metano e a redução da queima de gás. Empresas independentes como a PRIO e a 3R Petroleum (atual Brava Energia) vêm adotando essa abordagem no Brasil, em campos como Albarcora Leste e Peregrino. Apesar dos avanços, entraves regulatórios ainda limitam o desenvolvimento pleno de tecnologias-chave da transição, como captura e armazenamento de carbono (CCUS), hidrogênio de baixo carbono e eólica offshore, que já se expandem em mercados mais maduros como Estados Unidos, Alemanha e Japão, mas enfrentam no Brasil lacunas jurídicas, incertezas operacionais e ausência de incentivos financeiros específicos (EPE, 2022; IEA, 2024).

Outro desafio relevante está na alocação de capital. Em 2023, as empresas globais de O&G destinaram cerca de US\$ 28 bilhões para tecnologias de baixo carbono, o que representa apenas 4% dos mais de US\$ 570 bilhões investidos no setor energético como um todo (IEA, 2024). Esse dado evidencia que, apesar do discurso de compromisso climático, o direcionamento de recursos ainda está fortemente concentrado em atividades convencionais. A pressão por resultados financeiros imediatos, sobretudo em países emergentes, e o alto custo de capital associado a novas tecnologias agravam esse cenário (World Bank, 2024).

Essa tendência também se observa quando se analisam as prioridades das companhias em relação ao uso de seus lucros. Segundo o estudo "Investing in Oil and Gas Transition Assets En Route to Net Zero" da Columbia University (2023), apesar dos lucros recordes, em 2022 as empresas privadas investiram mais em pagamento de dividendos e recompras de ações do que em ações efetivas de transição energética. Esse padrão reflete um comportamento de *short-termism* corporativo, no qual a maximização imediata de retornos aos acionistas prevalece sobre estratégias de longo prazo voltadas à transição energética. Como resultado, reforça-se a contradição entre os compromissos públicos de descarbonização e a prática concreta de alocação financeira, perpetuando a dependência estrutural do setor em relação aos combustíveis fósseis.

Essa contradição aparece com clareza nos posicionamentos mais recentes. De acordo com a *World Benchmarking Alliance* (2023), só 18% do CapEx do setor vai para tecnologias de baixo carbono, enquanto os investimentos em exploração e produção de combustíveis fósseis continuam dominando. Um exemplo disso é a gigante britânica BP: depois de anunciar que reduziria sua produção de petróleo e gás em 40% até 2030, a empresa voltou atrás e ajustou a meta para 25%, reforçando os aportes no segmento fóssil em busca de maior rentabilidade (*Reclaim Finance*, 2024). Esse tipo de decisão mostra que, mesmo com grande parte da indústria reconhecendo a urgência da transição, ainda há um conflito entre ambição climática e pressão por resultados financeiros. Isso reforça a importância de colocar a inovação no centro da estratégia de competitividade do setor.

Além da priorização corporativa por retornos financeiros imediatos, fatores estruturais também ajudam a explicar a lentidão dos investimentos em baixo carbono no Brasil. A segurança energética continua sendo um elemento central, dado o papel estratégico do pré-sal na matriz nacional e sua contribuição relevante para a arrecadação fiscal e a balança comercial. Nesse cenário, a expansão da produção de petróleo e gás é frequentemente justificada como condição necessária para garantir estabilidade de oferta interna e geração de receitas públicas, mesmo diante dos compromissos de descarbonização (EPE, 2024). Paralelamente, tecnologias consideradas essenciais para a transição, como a captura e armazenamento de carbono (CCUS), o hidrogênio de baixo carbono e a eólica offshore, ainda enfrentam custos elevados, ausência de regulamentação consolidada e avanços mais lentos do que o esperado, o que aumenta a percepção de risco e restringe o ritmo de adoção pelas empresas nacionais (IEA, 2023; World Bank, 2024). Dessa forma, a combinação entre a necessidade de preservar a segurança energética e a maturidade tecnológica limitada explica, em parte, por que o setor brasileiro de óleo e gás segue concentrando seus investimentos em atividades convencionais, ao mesmo tempo em que declara compromissos crescentes com a neutralidade climática.

Contudo, mesmo frente aos desafios, são as oportunidades que despontam como principal marca do protagonismo brasileiro na transição. O setor de O&G brasileiro também é um espaço fértil de oportunidades na transição energética. Um dos principais ativos do setor é a sua capacidade técnica e de engenharia, já aplicada em ambientes extremos como o pré-sal. Essa expertise pode ser redirecionada para áreas-chave como eólica offshore, produção de hidrogênio azul e monitoramento de metano, tecnologias com alto potencial de descarbonização e forte sinergia com a infraestrutura existente (IBP, 2021; EPE, 2022).

2.2. Governo e Indústria: Posicionamentos e Oportunidades

O Brasil se movimenta em direção aos investimentos em projetos de baixo carbono. O emblemático caso da Petrobras exemplifica a dualidade intrínseca à Indústria: a empresa que dobrou seus recursos destinados a projetos de baixo carbono, totalizando US\$11,5 bilhões no quinquênio (TB *Petroleum*, 2023), também é a responsável por um investimento em óleo e gás é mais de 6 vezes maior, com estimativa de US\$73 bilhões (TB *Petroleum*, 2023). Já sua subsidiária, Transpetro, investiu em usinas solares de maneira preliminar, com projetos em Guarulhos (SP) e Coari (AM) (Reuters, 2024). A representatividade e posicionamento da Petrobras reforça esse paradoxo: trata-se da maior empresa do setor energético do país, possui capital misto, isto é, público e privado, e é responsável pela maior parte da produção nacional de petróleo e gás natural, além de figurar entre as maiores companhias abertas da América Latina em valor de mercado. Sua atuação impacta diretamente a balança comercial, a arrecadação de municípios, bem como a política energética nacional, tornando seus movimentos estratégicos relevantes para a trajetória de descarbonização do Brasil. Nesse cenário, a tensão entre a expansão de ativos fósseis e o crescimento dos investimentos em soluções de baixo carbono resume bem os dilemas estruturais da transição energética em economias que ainda dependem fortemente da indústria de óleo e gás.

Ao encontro das iniciativas corporativas, em dezembro de 2024, o Governo Federal sancionou a lei Lei nº 15.042 que regulamenta o mercado de carbono no Brasil (CNN Brasil, 2024). A proposta criou o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que busca regulamentar o mercado de carbono nacional (CNN Brasil, 2024). De acordo com o Ministério da Fazenda (2024), "a nova legislação permite que as emissões de gases poluentes se revertam em ativos financeiros negociáveis, o que atrai investimentos internacionais, fomenta a preservação ambiental e gera novas oportunidades de renda para os brasileiros". O SBCE estabelece um sistema para a compra e venda de créditos de carbono e normas específicas para instituições emissoras, contribuindo para o alinhamento do país com os mecanismos internacionais de precificação do gás. A iniciativa é promissora, mas o projeto ainda se encontra incipiente e carece de maior desenvolvimento para suprir a demanda atual (Agência Gov, 2024).

Ainda no âmbito estatal, um novo e importante elemento da estratégia de desenvolvimento sustentável é o Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), um programa do Governo Federal que busca melhorar a infraestrutura do Brasil, estimular o crescimento econômico e promover uma melhor qualidade de vida da população. A previsão de investimentos é de R\$1,3 trilhão até 2026 (Caixa Econômica, 2024) e os investimentos em transição e segurança energética representam cerca de 33% desse total (EPE, 2024).

Complementarmente às iniciativas práticas, no âmbito ambiental e social programas importantes também têm sido lançados, como o ProFloresta+, anunciado em março de 2025 pela Petrobras e pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O programa destina cerca de R\$ 450 milhões para financiar a restauração florestal na Amazônia, por meio da compra de créditos de carbono, com meta inicial de reflorestar cerca de 15 mil hectares. Essa iniciativa demonstra um esforço integrado entre preservação ambiental e estímulo ao mercado de carbono, potencializando as oportunidades de compensação e redução da pegada de carbono das Companhias. (BRASIL, 2025)

Outros investimentos muito importantes como CCUS, hidrogênio verde e PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação) também são alvo do financiamento sustentável no setor de energia nacional. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), em 2024 a Agência Nacional do Petróleo (ANP) relatou a existência de "207 projetos em andamento sobre energia solar, hidrogênio, energia eólica, captura e armazenagem de carbono, modelagem e prevenção de impactos ambientais, somando mais de R\$1 bilhão". Apenas em eólica offshore, havia 247 GW de projetos de energia eólica offshore com processo de licenciamento ambiental aberto no IBAMA em abril de 2025 (IBP, 2025).

No que diz respeito à CCUS, apesar de não possuir uma regulamentação específica, o Brasil já conta com projetos-piloto da tecnologia em operação na Bacia de Santos, que representam uma oportunidade estratégica para alavancar o financiamento sustentável voltado para a redução de emissões. Iniciativas como a Plataforma de Descarbonização da Indústria de Petróleo e Gás, coordenada pelo Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, demonstram articulação setorial e o potencial de impacto. Segundo dados da CCS Brasil e da Confederação Nacional da Indústria (CNI), os projetos de captura possuem um potencial de reduzir 57% das emissões de gases de efeito estufa. Com isso, tornam-se soluções com grande potencial para setores difíceis de descarbonizar, mesmo com estratégias convencionais (CNI, 2024). Contudo, vale ressaltar que ainda há um longo caminho a ser percorrido no Brasil no que se diz respeito à viabilidade técnica e financeira para plena implementação da tecnologia.

Ademais, nos campos de pré-sal da Petrobras foi desenvolvido o Programa de CCUS, caracterizado como o maior do mundo no que se diz respeito à reinjeção de CO₂ offshore (IBP, 2025). A empresa ainda se comprometeu a reinjetar 80 milhões tCO₂ até 2025 (IBP, 2025). Em escala global, a Agência Internacional de Energia (IEA) projeta que, para que o mundo alcance o cenário Net Zero, a capacidade global de captura, uso e armazenamento de carbono (CCUS) deverá atingir aproximadamente 1,2 bilhão de toneladas de CO₂ por ano.

Já em relação à Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), é importante compreender o termo como um conjunto de atividades voltadas à geração de novos conhecimentos científicos e tecnológicos e à sua aplicação prática para criação de soluções inovadoras. No setor de energia, essa relevância aparece em duas frentes: por um lado, impulsiona ganhos de eficiência e competitividade nas operações tradicionais de óleo e gás; por outro, viabiliza o avanço de tecnologias emergentes essenciais para a transição, como a própria captura e armazenamento de carbono (CCUS), biocombustíveis avançados, hidrogênio de baixo carbono e digitalização de processos. A EPE (2024) ainda destaca que "o segmento de Exploração & Produção (E&P) é o principal financiador do investimento em tecnologias necessárias para a transição energética", embora o maior foco continue sendo petróleo e gás. Tal investimento decorre de múltiplos fatores, entre eles a pressão social por sustentabilidade, a diversificação do portfólio, os incentivos governamentais e a preocupação com reputação e imagem. Soma-se a isso a necessidade de adaptação à onda global de transição energética e a obrigação legal prevista na Lei nº 9.991/2000, que determina às concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor elétrico a aplicação de parte da receita operacional líquida em projetos de P&D e em programas de eficiência energética (Brasil, 2000).

Dessa forma, evidencia-se o papel do setor energético brasileiro como protagonista no processo de transição energética global. No entanto, é importante destacar que essa transição não ocorrerá de forma imediata, mas sim de forma gradual. Segundo o relatório de 2023 "The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions", dentro do cenário NZE (Net Zero Emissions by 2050) da Agência Internacional de Energia (IEA), mesmo em cenários compatíveis com a meta de 1,5°C do Acordo de Paris, a produção de petróleo deverá se manter em torno de 24 milhões de barris por dia em 2050, enquanto quase um trilhão de metros cúbicos de gás natural continuará sendo produzido, com aproximadamente metade desse volume destinado à geração de hidrogênio. Como é possível notar, ainda nos cenários mais ambiciosos, os combustíveis fósseis se farão presentes na matriz energética global até, no mínimo, 2050 (EPE, 2024). A descarbonização da matriz energética é indiscutivelmente necessária para conter o avanço das mudanças climáticas.

Ainda assim, o setor de petróleo e gás permanece essencial: além de ser um dos maiores emissores de gases de efeito estufa, é também paradoxalmente o único com escala, capital e tecnologia para mitigar suas próprias emissões. A demanda por energia segue elevada e constante, e o desafio está em garantir segurança energética sem negligenciar os compromissos climáticos e de desenvolvimento sustentável. Para isso, além de fundamental ampliar o protagonismo das fontes renováveis, é necessário discutir o financiamento da transição e seus assuntos regulatórios.

2.3. Financiamento e Regulação

No campo monetário, o financiamento sustentável tem ganhado força. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), os investimentos globais em energia limpa devem atingir US\$ 2,2 trilhões em 2024, o dobro do volume previsto para combustíveis fósseis. No Brasil, as perspectivas para o futuro são otimistas: o país avançou com a emissão de títulos soberanos sustentáveis e prepara-se para regulamentar o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), criando mecanismos de precificação de carbono e atração de capital verde (BRASIL, 2024; BID, 2025).

Reforçando esse movimento, há um esforço crescente de bancos multilaterais, como o BID e o Banco Mundial, que lançaram uma plataforma para atrair capital privado ao desenvolvimento sustentável da Amazônia, com base em novas diretrizes para emissão de títulos. O programa prevê até US\$ 1 bilhão em Títulos da Amazônia para financiar projetos que combatam o desmatamento e fortaleçam comunidades locais. A iniciativa, apoiada por países como a Espanha, integra os esforços rumo à COP30 em Belém, conectando compromissos climáticos globais a ações concretas na região (IADB, 2025).

Além disso, a crescente preocupação com a autenticidade das práticas ambientais nas empresas - que decorre da combinação de pressões regulatórias, sociais e de mercado -, tem colocado o fenômeno do *greenwashing* sob intenso escrutínio. De acordo com Futerra, citado por Ramos (2001), o termo *greenwashing* refere-se à disseminação de informações imprecisas por parte de uma organização com o objetivo de construir uma imagem pública ambientalmente responsável. Trata-se de uma representação de responsabilidade ambiental que, muitas vezes, carece de fundamentos concretos ou é intencionalmente enganosa. Segundo relatório da KPMG Brasil (2025), o desafio do *greenwashing* representa um risco significativo para a credibilidade das organizações, especialmente em um contexto em que investidores e consumidores demandam cada vez mais transparência e responsabilidade socioambiental. Além disso, do ponto de vista civil, o *greenwashing* pode configurar publicidade enganosa e resultar em responsabilização judicial.

No Brasil, o arcabouço jurídico tem evoluído com o objetivo de coibir práticas inadequadas e promover maior rigor na divulgação de informações ambientais. Em entrevista à Exame (2022), Maurício Colombari, sócio da PwC, ressalta que as normas regulatórias desempenham papel fundamental na padronização das informações divulgadas pelas empresas. Além disso, podem servir como catalisadores para que as organizações reavaliem suas estruturas de governança, estratégias corporativas e mecanismos de gestão de riscos socioambientais. A padronização contribui para que as empresas tenham maior clareza sobre os critérios de divulgação e, ao mesmo tempo, oferece aos investidores subsídios mais consistentes para a tomada de decisão, garantindo confiança dos seus stakeholders e assegurando uma boa reputação com estes.

2.4. Fator Humano

A transição energética não representa apenas um imperativo ambiental, mas também uma oportunidade estratégica para o setor energético no Brasil. Além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, o engajamento com essa agenda tem se mostrado cada vez mais relevante para a reputação corporativa e a atração de talentos. Empresas alinhadas a compromissos climáticos e de sustentabilidade vêm ganhando destaque entre investidores com foco ESG e, principalmente, junto às novas gerações profissionais.

Em um setor que pode enfrentar um “apagão de mão de obra” nos próximos anos (IBP, 2019), posicionar-se como agente ativo da transição energética pode se tornar um diferencial competitivo essencial. Tal alinhamento não apenas fomenta a inovação e a geração de valor sustentável, como também responde às expectativas de um público jovem cada vez mais atento às questões ambientais. A pesquisa “Adolescentes, jovens e mudanças climáticas no Brasil” do Centro Internacional de Estudos e Pesquisas sobre a Infância (CIESPI/PUC-Rio, 2025) mostra que 99,5% dos jovens brasileiros já ouviram falar sobre mudanças climáticas, e 90% expressam preocupação com seus efeitos. Além disso, 68,5% relatam sentimentos de ansiedade, medo e insegurança frente ao futuro climático, o que tem influenciado diretamente suas escolhas profissionais.

Estudos recentes do Institute for Strategic Dialogue (2024) indicam que mais de 80% dos brasileiros entre 18 e 29 anos desejam atuar em setores comprometidos com metas ambientais claras. Apesar disso, mais da metade desse grupo afirma não se sentir representado nas discussões sobre o futuro energético do país. Essa lacuna de representatividade e propósito já se reflete no comportamento do mercado de trabalho: segundo a Deloitte (2025), dois em cada dez membros da Geração Z e dos Millennials pesquisaram as práticas ambientais de uma empresa antes de aceitar uma vaga. No Brasil, dados da NUBE (2024) revelam que 81,79% dos jovens valorizam a sustentabilidade como critério decisivo ao buscar uma colocação profissional.

No fator humano, o avanço da transição energética também é um vetor de engajamento e retenção de talentos, especialmente em um momento em que propósito, impacto socioambiental e responsabilidade corporativa ganham centralidade nas decisões de carreira das novas gerações.

3 Conclusão

A transição energética deixou de ser uma pauta setorial para se tornar um imperativo estratégico para as empresas de óleo e gás no Brasil. Ao longo deste artigo, conseguimos observar como o financiamento sustentável tem se consolidado como um catalisador essencial para viabilizar essa transformação, impulsionando investimentos em tecnologias como CCUS, hidrogênio verde, eólica offshore e projetos de restauração florestal. Iniciativas como o SBCE, o ProFloresta+ e os Títulos da Amazônia demonstram que o país está construindo uma base regulatória e financeira robusta para alinhar crescimento econômico e responsabilidade climática, mesmo ainda não sendo suficientes e havendo espaço para mais desenvolvimento.

O Brasil, com sua matriz energética diversificada e abundância de recursos naturais, está estrategicamente posicionado para liderar a transição energética em escala global. No entanto, essa liderança exige ação coordenada entre governo, setor privado e sociedade civil, além de um ambiente regulatório mais claro e incentivos que estimulem a inovação e a descarbonização em larga escala. É necessário que haja um arcabouço regulatório que busque dar segurança para investidores.

Além dos aspectos ambientais e econômicos, a transição energética representa também uma oportunidade de transformação cultural e geracional. Em um setor que enfrenta o risco de um apagão de mão de obra, o engajamento com práticas sustentáveis e transparentes torna-se um diferencial competitivo para atrair e reter talentos das gerações Z e Alpha, que buscam propósito, impacto e coerência entre discurso e prática.

Embora os combustíveis fósseis ainda desempenhem papel relevante nas próximas décadas, o desafio está em garantir segurança energética sem negligenciar os compromissos climáticos. Empresas que se anteciparem a essa mudança, adotando práticas ambientais éticas e inovadoras, estarão mais preparadas para enfrentar riscos regulatórios, conquistar a confiança dos stakeholders e prosperar em uma economia global cada vez mais orientada para o baixo carbono.

Referências

ALÉM DA SUPERFÍCIE. *O mercado de combustíveis e a chegada da geração Z ao poder de consumo.* [S. l.], [2024?]. Disponível em: <https://alemdasuperficie.org/transicao-energetica/o-mercado-de-combustiveis-e-a-chegada-da-geracao-z-ao-poder-de-consumo/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. *Conheça mais detalhes das cinco fases de implementação do mercado de carbono no Brasil.* Agência EBC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202412/conheca-mais-detalhes-das-cinco-fases-de-implementacao-do-mercado-de-carbono-no-brasil>. Acesso em: 3 set. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. *Estudo aponta que o Brasil estará entre os países com menor emissão per capita de gases de efeito estufa na produção e no uso de energia.* 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202410/estudo-aponta-que-o-brasil-estara-entre-os-paises-com-menor-emissao-per-capita-de-gases-de-efeito-estufa-na-producao-e-no-uso-de-energia>. Acesso em: 01 jul. 2025.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *World Energy Investment 2024.* Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024>. Acesso em: 03 jul. 2025.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). *BID e Banco Mundial lançam novo programa de emissão de Títulos da Amazônia.* 2025. Disponível em: <https://www.iadb.org/pt-br/noticias/bid-e-banco-mundial-lancam-novo-programa-de-emissao-de-titulos-da-amazonia>. Acesso em: 03 jul. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. *Conheça mais detalhes das cinco fases de implementação do mercado de carbono no Brasil.* Agência EBC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202412/conheca-mais-detalhes-das-cinco-fases-de-implementacao-do-mercado-de-carbono-no-brasil>. Acesso em: 3 set. 2025.

BRASIL. *Ministério da Fazenda.* Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/desenvolvimento-economico-sustentavel/sistema-brasileiro-de-comercio-de-emissoes>. Acesso em: 07 jul. 2025.

BRASIL. *ProFloresta+: parceria entre BNDES e Petrobras impulsiona restauração de 50 mil hectares na Amazônia.* Secretaria de Comunicação Social, 12 mar. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/03/profloresta-parceria-entre-bndes-e-petrobras-impulsiona-restauracao-de-50-mil-hectares-na-amazonia>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Novo PAC.* 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/novo-pac/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

CASA CIVIL. *Transição e segurança energética – Novo PAC.* 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/transicao-e-seguranca-energetica>. Acesso em: 25 jun. 2025.

CARBON BRIEF. *Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?* 2021. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E ESTUDOS DE PSICOLOGIA E INSTITUIÇÕES (CIESPI). *Adolescentes, jovens e mudanças climáticas no Brasil – 2025.* São Paulo: CIESPI, 2025. Disponível em: <https://www.ciespi.org.br/media/files/fcea049a8ec4d511ecbe6e5141d3afd01c/fd6cec36a29d-911f0968267ef596970b3/ciespi-adol-jov-mc-2025.pdf>. Acesso em: 5 set. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS): experiências internacionais e o potencial brasileiro.* Brasília: CNI, 2024.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – UNFCCC. *The Paris Agreement.* Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CNN BRASIL. *Governo sanciona lei que regulamenta mercado de carbono.* 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/governo-sanciona-lei-que-regulamenta-mercado-de-carbono/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

DELOITTE. *2025 Gen Z and Millennial Survey.* [S. l.]: Deloitte, 2025. Disponível em: <https://www.deloitte.com/content/dam/assets-shared/docs/campaigns/2025/2025-genz-millennial-survey.pdf>. Acesso em: 27 jun 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *O papel do setor de petróleo e gás natural na transição energética brasileira.* Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/11/papel-setor-petroleo-gas-natural-transicao-energetica-epe-2024.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2034.* Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 3 set. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Roteiro tecnológico: eólica offshore no Brasil.* Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-eolica-offshore-brasil>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EXAME. *Para 98% dos investidores brasileiros, há greenwashing nos relatórios de sustentabilidade.* Exame, 4 dez. 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/para-98-dos-investidores-brasileiros-ha-greenwashing-nos-relatorios-de-sustentabilidade/>. Acesso em 03 jul. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. *Energia renovável chega a quase 50% da matriz elétrica brasileira.* 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 25 jun. 2025.

GOVERNO DO BRASIL. *Sancionada a lei que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil.* 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2024/dezembro/Sancionada-a-lei-que-estabelece-as-bases-para-um-mercado-regulado-de-carbono-no-Brasil>. Acesso em: 02 set. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Oil and gas industry faces moment of truth – and opportunity to adapt – as clean energy transitions advance.* Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/news/oil-and-gas-industry-faces-moment-of-truth-and-opportunity-to-adapt-as-clean-energy-transitions-advance>. Acesso em: 22 maio 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions.* Paris: IEA, nov. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-net-zero-transitions>. Acesso em: 3 set. 2025. Licença: CC BY 4.0.

INSTITUTE FOR STRATEGIC DIALOGUE. *A era da adaptabilidade: relatório de tendências 2024.* [S. l.]: ISD, 2024. Disponível em: https://7793757.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7793757/MpG_AEradaAdaptabilidade_RelatorioTendencias_EN.pdf. Acesso em: 27 jun 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP). *A Indústria de Petróleo e Gás na Transição Energética.* Rio de Janeiro: IBP, 2021. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2021/01/positon-paper-a-industria-de-petroleo-e-gas-na-transicao-energetica-vf-2.pdf>. Acesso em 03 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP). *Panorama geral do setor de óleo e gás natural no Brasil.* Rio de Janeiro: IBP, 2025. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2025/04/01-a-panorama-geral-do-seguranca-de-og-por-tugues-compressed.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. *Entenda as emissões de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais no Brasil em 2023.* 2024. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/entenda-as-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-no-brasil-em-2023-20241113>. Acesso em: 23 jun. 2025.

JAIN, Gautam; PALACIOS, Luisa. *Investing in Oil and Gas Transition Assets En Route to Net Zero.* New York: Center on Global Energy Policy, Columbia University, 2 mar. 2023. Disponível em: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/investing-in-oil-and-gas-transition-assets-en-route-to-net-zero-2/>. Acesso em: 3 set. 2025.

KPMG BRASIL. *The Challenge of Greenwashing.* São Paulo: KPMG, 2025. Disponível em: <https://kpmg.com/br/pt/home/insights/2025/01/the-challenge-of-greenwashing.html>. Acesso em 03 jul. 2025.

NUBE. 81,79% dos jovens valorizam a sustentabilidade em um emprego. São Paulo: NUBE, 2024. Disponível em: https://www.nube.com.br/blog/2024/06/26/81-79-dos-jovens-valoriza-a-sustentabilidade-em-um-emprego?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 27 jun 2025

PEW RESEARCH CENTER. Gen Z, Millennials stand out for climate change activism, social media engagement with issue. Washington, D.C.: Pew, 2021. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/science/2021/05/26/gen-z-millennials-stand-out-for-climate-change-activism-social-media-engagement-with-issue/>. Acesso em: 22 maio 2025.

RECLAIM FINANCE. *ASSESSMENT OF BP'S CLIMATE STRATEGY.* 2025. Disponível em: <https://reclaimfinance.org/site/wp-content/uploads/2025/04/BP-Assessment-2025.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

REUTERS. *Brazil approves offshore wind law to boost renewables.* Reuters, 15 jan. 2025. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/americas/brazil-president-signs-law-authorizing-of-fshore-wind-development-2025-01-11/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

REUTERS. Brazil's Petrobras subsidiary pushes renewables at terminals. 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/markets/commodities/brazils-petrobras-subsidiary-push-renewables-terminals-2024-04-03/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

TB PETROLEUM. Petrobras unveils Strategic Plan 2024–2028 featuring investments of USD 102 billion. 2023. Disponível em: <https://www.tbpetroleum.com.br/noticia/petrobras-unveils-strategic-plan-2024-2028-featuring-investments-of-usd-102-billion/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

WORLD BANK. *World Bank Global Economic Prospects – June 2024.* Washington, D.C.: World Bank, 2024.

WORLD BANK. *State and Trends of Carbon Pricing 2024.* Washington, DC: World Bank, 2024. Disponível em: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>. Acesso em: 3 set. 2025.



Inovação em movimento:

A gente diz sim ao futuro

NAVE e iUP: Startups brasileiras na rota da COP30

O futuro da energia está sendo redesenhado no Brasil, e o Programa NAVE, fruto da parceria entre a ANP e o hub de inovação iUP, do IBP, mostra como inovação e indústria podem caminhar lado a lado na evolução energética. Mais do que uma vitrine de ideias, o NAVE conecta startups a grandes empresas do setor e abre as portas para que soluções tecnológicas ganhem escala real e impacto global

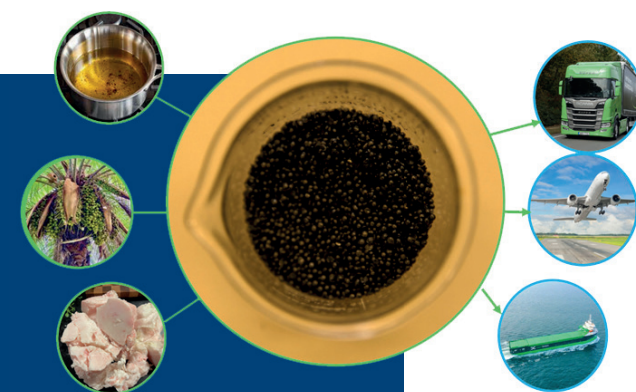
Nesta edição, o NAVE mostrou a força do ecossistema de inovação: foram 204 startups inscritas, com 21 selecionadas, e um investimento de cerca de R\$ 30 milhões destinado a acelerar projetos em baixo carbono, digitalização e segurança energética. O programa também amplia suas fronteiras ao levar três startups focadas em descarbonização para o Houston Energy & Climate Week, posicionando o Brasil em um dos principais polos globais de energia e clima.

A sinergia se traduz em resultados concretos. Entre as startups apoiadas pelo NAVE, estão iniciativas como a NSGreenFuels, que desenvolveu um catalisador para combustíveis sustentáveis; a CarbonAir Energy, pioneira em captura direta de CO₂; e a Treevia Forest Technologies, que usa sensores IoT para monitoramento florestal. Todas têm em comum o compromisso com soluções escaláveis e estratégicas para a evolução energética.

Não se trata apenas de olhar para o setor de óleo e gás, mas de pensar em tecnologias aplicáveis a diferentes indústrias, expandindo o alcance do Brasil como protagonista global em inovação energética

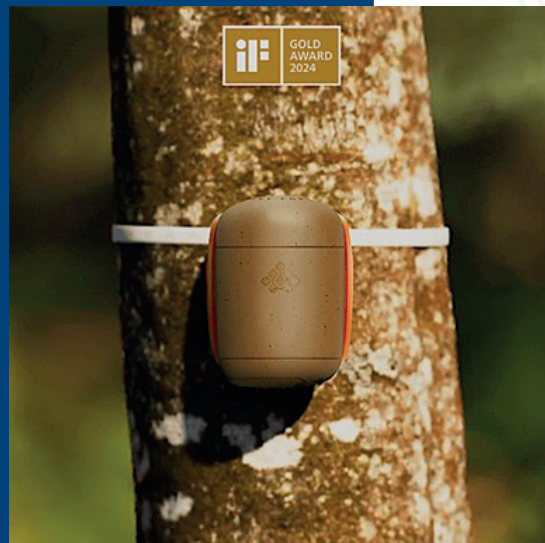
A Think Energy COP30 vai mergulhar nessa pauta. Prepare-se para conhecer de perto as ideias, os protagonistas e as tecnologias que estão escrevendo a nova história da energia.

A **NSGreenFuels**, spin-off do LEC/UFMG, é formada por jovens bolsistas do PRH 1.1 e desenvolveu um catalisador inovador para a produção de combustíveis sustentáveis como SAF, Diesel Verde e biobunker a partir de matérias graxas de baixo custo. Já em fase de patenteamento, o projeto avança para escalonamento e testes em escala piloto. A tecnologia se diferencia pela eficiência e robustez, sem necessidade de sulfetação prévia, o que reduz custos e impactos ambientais. Os ensaios em bancada demonstraram alto desempenho com óleos residuais, gordura animal, óleo de macaúba, biodiesel e LCC, já atingindo TRL 4 em reator contínuo. A próxima etapa é a produção em maior escala e a evolução para TRL 6 em parceria com o setor petrolífero, a partir do edital NAVE-ANP. A caracterização dos produtos será realizada pelo LEC/UFMG, garantindo qualidade internacional. Uma solução estratégica para a evolução energética e a economia de baixo carbono.



Outra aposta promissora é a **CarbonAir Energy**, startup brasileira pioneira em soluções de captura direta de CO₂ do ar (DAC) e de fontes estacionárias. Com tecnologia modular plug-and-play, escalável e de fácil integração em diferentes contextos industriais, a empresa viabiliza a redução de emissões de difícil abatimento e amplia estratégias de compensação de carbono. O CO₂ capturado pode ser convertido em carbonatos ou utilizado para a produção de combustíveis sintéticos, como metanol e SAF. A CarbonAir atua com inovação nacional e parcerias estratégicas, posicionando o Brasil no centro da evolução energética global e da construção de uma economia de baixo carbono.

A **Treevia Forest Technologies**, por sua vez, aposta em soluções digitais para o futuro do monitoramento florestal. A greentech brasileira desenvolveu o SmartForest, uma plataforma integrada a sensores IoT (dendrômetros sem fio) que realiza o acompanhamento contínuo do crescimento de árvores e da dinâmica de carbono em florestas plantadas e nativas. Essa inovação permite gerar dados de alta resolução sobre sequestro e emissões, fundamentais para empresas do setor de energia e da bioeconomia otimizarem sua gestão, reduzirem riscos climáticos e comprovarem resultados ambientais com maior precisão. É tecnologia de ponta unindo ciência, impacto climático mensurável e inteligência de mercado.



O NAVE segue agora sua jornada para a COP30, levando as startups brasileiras ao debate internacional sobre energia limpa e inovação. Mais do que um programa de aceleração, a iniciativa mostra como a união entre agências reguladoras, hubs de inovação e empresas pode ser a ponte para inserir o Brasil no centro das soluções globais.

O que é o NAVE?

O NAVE é um Programa de inovação aberta da ANP financiado com recursos da cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação dos contratos de exploração & produção de petróleo e gás natural.

As nove empresas de energia participantes da primeira edição do NAVE são: Petrogal Brasil, TotalEnergies, China National Petroleum Corporation (CNPC), Shell, ExxonMobil, Equinor, Repsol Sinopec, China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) e Petrobras.

A partir do acordo de cooperação técnica firmado com a ANP publicado em 31/12/2024, no Diário Oficial da União, o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) passou a ser o gestor administrativo e financeiro do NAVE.

Qual é o objetivo do NAVE?



Fomentar startups e novos modelos de negócios.



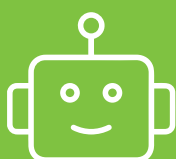
Promover a inovação para desafios comuns do setor de energia.



Estimular o empreendedorismo.



Incentivar empresas da cadeia fornecedora.



Desenvolver tecnologia em temas prioritários.



Induzir a cooperação entre ICTs e startups.



NAVE em números

O Brasil no centro da inovação energética

261

inscrições válidas

85%

dos desafios contemplados

(57 de 67)

18

estados

5

regiões brasileiras

21

startups
selecionadas

19

desafios

3

startups
na Houston
Energy &
Climate Week

104

Registro do maior número
de inscrições válidas

inscrições no macrotema *M3 – Tecnologias
em transformação digital*

Que saber mais?

iupenergia.com.br/programa-nave/





Presidente Roberto Furian Ardenghy
Fernando Moura da ANP

Artigos

Congresso da ROG.e

Transição energética justa: uma análise conceitual

Marilda Rosado de Sá Ribeiro & Rodrigo Jesus Neves de Paiva Navarro
Páginas 35-45

Mercado de Carbono: Teoria Econômica, Prática Internacional e Expectativas para o Brasil

Lucas Antoun Netto
Páginas 46-55

A jornada do projeto H2R para navios de perfuração mais sustentáveis com produção embarcada de hidrogênio

Cristiano Henrique Gonçalves de Brito , Afonso Gonçalves Castro Junior, Edson Rafael Torres, Rodrigo Chamusca Machado, Sami Massalami Mohammed Elmassalami Ayad, Igor Zornitta Zanella, Franco Leonardi
Páginas 56-67



ROG-E

CONECTANDO ENERGIAS

SETEMBRO 23
Boulevard Chiriquí - 1691

1691

ção

Transição energética justa: uma análise conceitual

Just energy transition: a conceptual analysis

Marilda Rosado de Sa Ribeiro e Rodrigo Jesus Neves de Paiva Navarro.

Abstract

In light of climate change, a phenomenon increased by human activity in energy generation, particularly through the burning of fossil fuels and the consequent need for the expansion of less polluting renewable sources, there arises the need for the formation of a consensus on the criteria of justice that should guide public policies to render feasible the global energy transition. Considering the international commitments made by a wide range of countries, within the framework of the United Nations and the European Union, as well as the recommendations of International Organizations on the topics of Energy and Sustainable Development, the study examines the concept of fair energy transition, detailing the elements of its basis of constitution – social dialogue; economic and social inclusion; minimization of negative impacts; maximizing social and economic opportunities; social protection; equal opportunities; and sustainable development –, offering paths to political decision-makers, private entities and International Organizations so that, in view of the urgency present to the planet to renew its energy sources, they reap the opportunity to promote social, environmental and economic justice at this moment.

Keywords: Just Energy Transition; Conceptualization; Sustainable Economic Development

Resumo

Em vista da mudança climática, fenômeno acentuado pela atividade humana na geração de energia, em especial pela queima de combustíveis fósseis, e da decorrente necessidade da ampliação das fontes renováveis, menos poluentes, surge a necessidade da formação de um consenso acerca dos critérios de justiça que deverão pautar as políticas públicas de incentivo à transição energética global. Considerando os compromissos internacionais firmados por ampla gama de países, no âmbito das Nações Unidas e da União Europeia, como também as recomendações de Organizações Internacionais nos temas de Energia e Desenvolvimento Sustentável, o estudo examina o conceito de transição energética justa, pormenorizando os elementos da sua base de constituição – diálogo social; inclusão econômica e social; minimização dos impactos negativos; maximização das oportunidades sociais e econômicas; proteção social; igualdade de oportunidades; e desenvolvimento sustentável –, oferecendo caminhos aos decisores políticos, entes privados e Organismos Internacionais para que, em vista da urgência que se apresenta ao planeta de renovar as suas fontes energéticas, colham deste momento a oportunidade de promover justiça social, ambiental e econômica.

Palavras-chave: Transição Energética Justa; Conceituação; Desenvolvimento Econômico Sustentável.

1 Introdução

Já integra o conhecimento geral que está em pleno curso uma mudança climática, consistente na modificação, a longo prazo, dos padrões de temperatura e condições meteorológicas¹. Esta alteração é provocada pela ação humana, em especial pela atividade de geração de energia, responsável por dois terços das emissões de GEE² no planeta³.

A transição energética, em sua concepção mais elementar, é a mutação de uma economia baseada nas fontes de alto consumo de carbono para outra de baixo ou zero carbono, a exemplo das fontes renováveis⁴. Essa transição, embora se apresente como solução ao dilema vivenciado pelo planeta, não é, em si, neutra. Promove significativa transformação de cenário e atrai riscos à sociedade, haja vista que, se não for bem administrada, pode dar origem a mercados menos competitivos, à ampliação da desigualdade social⁵ e a falhas no fornecimento de energia⁶.

De outra parte, uma transição energética segura há de aprimorar a qualidade de vida das pessoas⁷ e prevenir danos, compensando os que perdem com ela enquanto muitos ganham. A transformação das fontes de energia poluentes em renováveis produzirá grupos de vencedores e perdedores⁸, pois enquanto uns se beneficiarão da *energia verde* e das novas oportunidades de trabalho e de negócios, típicas da economia de transição, outros não se adaptarão ao novo cenário e conhecerão redução de renda e negativa de acesso às vantagens que a transformação oferece.

A terminologia "transição justa" da força de trabalho foi cunhada nos EUA, no âmbito do movimento sindical, e com esse mesmo significado consagrou-se no preâmbulo do Acordo de Paris, ratificado pelo Brasil⁹. Atualmente alcança valores que extravasam a questão laboral, tornando-se um conceito indeterminado¹⁰ porque diferentes atores a compreendem sob múltiplas dimensões, que não se excluem, mas colaboram para uma visão holística do processo. Conforme a ITUC-International Trade Union Confederation, "concepts of equity and justice need to be unpacked by providing clear examples of what to do: no one size fits all solutions available to achieve climate justice or equity".¹¹

Há quem advogue a unificação das concepções e ofereça propostas¹², mas a pouca comunicação entre Organizações Internacionais - OIs, países e empresas¹³ dificulta o debate. O setor de óleo e gás possui uma visão própria do conceito, de sorte que não há uma fórmula universal para definir *justiça* no processo de transição energética, incerteza conceitual que dá ensejo a dúvidas sobre a eficiência das políticas públicas e das iniciativas empresariais que tentam ajustar-se às novas tendências.

A melhor compreensão do conceito poderá facilitar o diálogo entre Governos e entre estes e os agentes privados, além de servir de guia às empresas do setor energético que almejam implantar as melhores práticas, razão pela qual, visando contribuir para o debate, o texto a seguir examina a definição de *transição energética justa* contida em tratados e compromissos internacionais referentes à matéria e nas recomendações das OIs, documentos que traduzem a linguagem comum dos sujeitos do Direito Transnacional envolvidos na tarefa da redução do aquecimento global.

2 Transição energética injusta

O processo de transição demonstra complexidade porque demanda alterações tecnológicas, nos fluxos de comércio, nos padrões de consumo e nas relações socioeconômicas e ambientais¹⁴. As fontes renováveis são capazes de provocar impactos negativos, e.g., pás de aerogeradores matam aves e morcegos (agentes polinizadores) e geram barulho e sombreamento de áreas¹⁵. Transição energética nas regiões dependentes de fontes intensivas de carbono¹⁶ pode gerar ruptura nos arranjos produtivos locais e perdas de postos de trabalho; fechamento de indústrias; término da extração de matérias primas; ampliação de desigualdades sociais; processos de emigração; estagnação econômica local; abalo na coesão social e econômica; redução na arrecadação dos cofres públicos; perda da identidade cultural; pobreza financeira e energética (energy poverty).¹⁷ Esta última é um fenômeno multidimensional, decorrente da combinação de baixa renda, elevados gastos energéticos e pouca eficiência energética nas construções¹⁸, conceito que pode ser estendido a todo um país. A Nigéria, e.g., grande exportadora de gás natural liquefeito, possui o maior déficit de acesso a energia no globo, com quase 50% da população dependente de combustíveis não comerciais. Assim, o equilíbrio entre os países do Norte e do Sul Global, para que os últimos "não deixem para trás" a sua população energeticamente pobre, é um dos principais desafios da transição energética *global* justa¹⁹.

3 O pilar político da transição energética justa

O Brasil constrói a ideia de transição justa através de quatro pilares: o ambiental, o social, o econômico e o político²⁰. Esse componente político é real e vital para a transição. Apenas ele é capaz de superar o *carbon lock-in*²¹. Com efeito, no panorama da resistência ao novo, instituições e indústria formam uma rede de apoio mútuo que gera valor dentro do sistema tecnológico²², mantendo as manufaturas, trabalhos, educação, pesquisas e competências vinculadas e dependentes do setor intensivo de carbono²³. Ressalta-se, entretanto, que as instituições públicas podem superar essa relação de dependência²⁴ através de políticas de incentivo às estruturas de baixo carbono; abrindo espaços favoráveis de atuação à iniciativa privada; incentivando empresas a seguirem modelos de sucesso e orientando o desenvolvimento tecnológico na área²⁵. O pilar político é, portanto, central e ponto de apoio para os pilares ambiental, social e econômico. Eles garantirão justiça ao processo de transição energética, mas só poderão ser arquitetados no âmbito da Governança Global Ambiental e Energética. É papel da Governança Global²⁶ fornecer os caminhos para amparar os que sofrerão os maiores impactos das alterações e para conduzir a humanidade a um cenário melhor, na fiel tradução do princípio: "leave no one behind"²⁷.

De acordo com UN - *United Nations*²⁸; APEC - *Asia-Pacific Economic Cooperation*²⁹ e IEA - *International Energy Agency*³⁰, é fundamental que governos e entes públicos estabeleçam a transição justa como prioridade nas economias nacionais, transformando os setores energéticos, industriais, agrários e de transporte em sistemas renováveis, apoiados por instituições resilientes e firmes. Para isso, cabe instituir apoios governamentais específicos para as comunidades e os trabalhadores mais negativamente afetados, e fomentar o financiamento privado, incentivando a transferência de conhecimentos, competências e tecnologias em grande escala. No tema, a EU - *European Union* criou o Fundo da Transição Justa - FTJ, através de Regulamento³¹ que objetiva a

diversificação da economia dos territórios afetados e apoia financeiramente as médias, pequenas e micro empresas prejudicadas pela transição. No Brasil³², o Plano de Transição Justa da região de Santa Catarina concretiza essas finalidades ao prever proteção social, assistência aos afetados, fomento à reorientação econômica da região impactada e erradicação da pobreza.

O setor privado participa do processo de transição propiciando o desenvolvimento sustentável por meio de práticas corporativas robustas e diálogo social. Empresas de ponta do setor de óleo e gás participam do esforço de abertura às novas tecnologias³³ e, voluntariamente, comprometem-se à adoção de medidas de transição energética justa, vide Petrobras³⁴, Equinor³⁵ e Shell³⁶, dentre outras.

4 Conceções de *justiça* na transição energética

Dentre as múltiplas concepções acerca do critério de justiça que deve nortear a transição energética, destacam-se a do Brasil e a de UN; EU; IEA; APEC; ILO - *International Labour Organization*; IISD - *International Institute for Sustainable Development*; e ITUC - *International Trade Union Confederation*. Os documentos elaborados por esses atores são, entre si, complementares, traduzindo as melhores diretrizes da Governança Global Energética e Ambiental.

Os documentos consultados, frutos de debates de alto nível na UN e nas OIs, entregam à humanidade um conjunto de princípios com potencial de auxiliar órgãos públicos, organizações não-governamentais, sindicatos, associações, indústria privada e outros agentes que compõem a Governança Global Energética e Ambiental a caminharem juntos, nas atividades de maximização das oportunidades e de mitigação de riscos e danos, com proteção social aos que sofrem os efeitos das mudanças, especialmente os mais fragilizados por força de desigualdades financeiras, de gênero, de etnia ou outras, o que ressalta a real vocação do Direito Internacional Privado de efetivar a proteção da dignidade humana e assegurar o bem-estar dos cidadãos³⁷. Segundo esses documentos, a transição energética justa deve ocorrer através de:

4.1. Diálogo social

A *Silesia Declaration on Solidarity and Just Transition*³⁸ salienta que é medida de justiça garantir o diálogo participativo e um futuro digno para os trabalhadores afetados pela transição. Segundo UN³⁹, ILO⁴⁰, IEA⁴¹, IISD⁴², ITUC⁴³ a transição justa, com respeito aos Direitos Humanos, deve ter por base o diálogo social eficaz entre todas as partes afetadas, o que inclui governos, Organismos, trabalhadores e comunidades impactados, empresas e demais atores relevantes.

Essa abordagem integral abarca todos os setores econômicos⁴⁴ e deve ser aplicada de forma harmônica a todas as dimensões do desenvolvimento sustentável, envolvendo os aspectos geográficos, políticos, culturais, sociais, ambientais e econômicos, interligados entre si⁴⁵, sempre respeitando as peculiaridades de cada comunidade atingida. O vínculo econômico-social fica reforçado na possibilidade da transição energética impactar setores econômicos, reduzir a produtividade de empresas e gerar aumento da desigualdade social⁴⁶;

4.2. Inclusão econômica e social

Enxergar a questão sob o prisma da inclusão social é assegurar que os direitos humanos universais e as oportunidades econômicas básicas não serão negados a qualquer pessoa, independentemente de etnia, gênero, raça, moradia ou deficiência. Esta visão se volta para uma sociedade inclusiva onde as instituições, estruturas e processos empoderem as comunidades locais para que estas possam defender as suas posições e progredir em seus propósitos. Segundo o Brasil⁴⁷, ILO⁴⁸, IEA⁴⁹ e APEC⁵⁰, a transição socialmente justa deve ocorrer de maneira inclusiva, especialmente quanto aos tradicionalmente marginalizados nos processos de tomada de decisão;

4.3. Minimização dos impactos negativos

Há extremo vínculo entre a dimensão econômica e a social. Ao impactar setores econômicos e reduzir a produtividade de empresas, a transição energética produz aumento da desigualdade social⁵¹. A ILO⁵² e os sindicatos⁵³ estão atentos ao fenômeno. Assim, a transição energética econômica e socialmente justa deve minimizar os impactos negativos sobre os trabalhadores e as comunidades tal como recomendado por IISD⁵⁴, IPAC⁵⁵, ITCU⁵⁶ e adotado pelo Brasil⁵⁷. Também deve repartir os ônus e bônus da transição econômica de uma forma equitativa entre todos, consoante IISD⁵⁸ e APEC⁵⁹. Para a UN, a concretização dos objetivos propostos pela transição energética justa envolve a adoção de medidas de mitigação dos impactos sociais e adaptação às alterações climáticas, com a participação dos trabalhadores, sindicatos, comunidades e fornecedores⁶⁰;

4.4. Maximização das oportunidades sociais e econômicas

A transição justa deve maximizar as oportunidades sociais e econômicas, criando empregos dignos nos setores de baixa emissão de GEE, de acordo com IISD⁶¹, APEC⁶², IEA⁶³, UN⁶⁴, EU⁶⁵, e ILO⁶⁶. A criação de empregos sustentáveis e dignos é o oitavo Objetivo da Agenda 2030 da ONU⁶⁷. Indo além, a Declaração de Silésia refere que a transição justa da força de trabalho, mediante a criação de trabalho digno e de qualidade, é crucial para garantir o apoio popular ao processo de transição energética global. Nesse campo, a chave para políticas de transição justa é o desenvolvimento de competências que permitam transições suaves nos mercados de trabalho, com aumento de produtividade das empresas e preparação dos trabalhadores⁶⁸, enquanto preserva as suas culturas, para que assumam as ocupações emergentes na economia verde⁶⁹. Tal medida é aplicada pelo FTJ⁷⁰ e pelo Brasil⁷¹. A preocupação com a movimentação da força de trabalho e com o desemprego foi reiterada na COP 28 (2023), pelo documento "Global Renewables and Energy Efficiency Pledge"⁷². Para os países signatários, transições energéticas justas são as que desenvolvem uma força de trabalho voltada para as energias renováveis e a eficiência energética, enquanto requalificam os atuais trabalhadores do setor da energia em risco de deslocamento, promovendo a reconversão produtiva dos ativos ociosos e garantindo que as comunidades afetadas também se beneficiem das oportunidades oferecidas pela economia de transição. E isso vem ocorrendo. Segundo o IRENA/ILO, em 2023 o setor energético renovável empregava 13.7 milhões de pessoas no globo, um aumento de 1 milhão de trabalhadores quando comparado com o ano anterior. Dentre esses novos trabalhadores, 5.55 milhões encontravam-se na China e 1.4 milhão no Brasil, sendo estes dois países os líderes na criação de empregos no setor energético verde⁷³;

4.5. Proteção social

Na Declaração de Silésia, a proteção social adequada a garantir o bem-estar dos trabalhadores e de suas comunidades é item fundamental em uma transição que se pretenda justa;

4.6. Igualdade de oportunidades

Por sua vez, no panorama da COP 28, a "UAE Leaders' Declaration On A Global Climate Finance Framework"⁷⁴ acentuou que as mudanças climáticas têm um potencial, sem precedentes, de catalisar "oportunidades para todos" e de propiciar avanço "sem deixar ninguém para trás", mas que a igualdade de oportunidades sofre barreiras em razão do gênero. Por tal razão, na Declaração "COP 28 Gender-Responsive Just Transitions and Climate Action Partnership"⁷⁵ os países signatários salientaram o nexo entre igualdade de gênero e transições energéticas justas, demonstrando preocupação com o fato de que as alterações climáticas acentuem desigualdades e violência de gênero. Os signatários reconheceram a necessidade de desenvolver sistemas de proteção social sensíveis ao gênero e inclusivos de pessoas com deficiência, que facilitem as transições de meios de subsistência. É oportuno lembrar que o quinto objetivo da Agenda 2030 da ONU é o de alcançar a igualdade de gênero e a capacitação de todas as mulheres⁷⁶;

4.7. Desenvolvimento sustentável

Para a ILO, a transição está vinculada ao desenvolvimento sustentável, ou seja, ela deve satisfazer às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem as suas próprias demandas⁷⁷, de maneira justa e inclusiva⁷⁸. Do mesmo modo, a UN estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, expressos na *2030 Agenda for Sustainable Development*⁷⁹. Por ocasião da COP 24, 54 países⁸⁰ adotaram a Declaração de Silésia, que foi expressa em afirmar a importância das "Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all"⁸¹, elaboradas pela ILO e em incentivar que o processo de transição justa para uma economia de baixa emissão de GEE e um desenvolvimento resiliente às alterações climáticas esteja alinhado aos objetivos da *2030 Agenda for Sustainable Development*⁸².

5 Considerações Finais

O Sétimo Objetivo da Agenda 2030 da ONU é o de garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos⁸³. A alteração das fontes energéticas para as de matriz renovável pode permitir a realização desse propósito, além da redução dos GEE.

A *transição energética justa* é aquela que se faz com: diálogo social; inclusão econômica e social; minimização dos impactos negativos; maximização das oportunidades sociais e econômicas; proteção social; igualdade de oportunidades; e alinhamento com os Objetivos da Agenda 2030 da ONU, especialmente a igualdade de gênero (Objetivo 5); o acesso à energia sustentável para todos, evitando a *pobreza energética* (Objetivo 7); o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos (Objetivo 8).

No aspecto macro, a *transição energética justa* é efetivada por meio do rompimento do *carbon lock in* e da redistribuição dos ônus e bônus entre todos, inclusive países, garantindo-lhes o Direito ao Desenvolvimento Sustentável (Objetivos 13, 14 e 15) para que possam, em seus territórios e no uso de suas soberanias, combater a pobreza e a miséria (Objetivo 1), na concretização dos Direitos Humanos.

1 UN - United Nations. *What Is Climate Change?*. Disponível em: <bit.ly/46Ofq0u>. Acesso em 20. out. 2023.

2 Gases de Efeito Estufa. Os principais são dióxido de carbono, metano e óxido nitroso.

3 IEA - International Energy Agency. *If the Energy Sector is to Tackle Climate Change, It Must Also Think about Water*. Paris: IEA. 2020. Disponível em: <https://shorturl.at/ejozH>. Acesso em: 17 out. 2023.

4 IISD - International Institute for Sustainable Development/GSI - Global Subsidies Initiative. *Real People, Real Change, strategies for just energy transitions*. Winnipeg: IISD, 2018. p. 2.; BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia/ EPE - Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME/EPE, 2020. p.34.

5 UNDP - United Nations Development Program. *How Just Transition Can Help Deliver the Paris Agreement*. 2022. Disponível em: <bit.ly/47fkXge>. Acesso em 23. out. 2023.

6 IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis/EY - Ernst & Young. *Relevância do petróleo para o Brasil*, 2019. Disponível em: <bit.ly/3sjWEPB>. Acesso em 01. nov. 2023; IEA. *The Oil and Gas Industry in Energy Transitions: Insights from IEA analysis*. 2020. Disponível em: <bit.ly/47ePtqF>. Acesso em: 01. nov. 2023; Ver também: LEAL-ARCAS, R.; FILIS, A. "Certain Normative Aspects of the Institutional Architecture of Global Energy Governance". In: *International Economic Law and African Development*, 2014. p. 28-29.

7 IPIECA - International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. *The Role of the Oil and Gas Industry in the Energy Transition*. Disponível em: <bit.ly/47gEfBY>. Acesso em 01. nov. 2023.

8 CARLEY, Sanya; KONISKY, David M. "The justice and equity implications of the clean energy transition", In: *Nature Energy*. v. 5. Revista Eletrônica. 2020. Disponível em <https://rb.gy/nqpd5>. Acesso em: 3 nov 2023

9 BRASIL. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017.

10 MUINZER, T. L. "Challenges in research approaches to the 'just energy transition' in legal studies and other branches of the social sciences", In: *The Journal of World Energy Law & Business*, v. 16, 2023; GUAYO, I.; CUESTA, Á. "Towards a just energy transition: a critical analysis of the existing policies and regulations in Europe", In: *The Journal of World Energy Law & Business*, v. 15, 2022; SOKOLOWSKI, M. M.; KUROKAWA, S.. "Energy justice in Japan's energy transition: pillars of just 2050 carbon neutrality", In: *The Journal of World Energy Law & Business*, v. 15, 2022.

11 em Conferência Paralela à COP 27: ITUC. *Futures Lab: Just Transition and the future of work*. Sharm El Sheikh: UNFCCC. 2022. Disponível em: <https://shorturl.at/xAR37>. Acesso em: 18 fev 2024.

- 12 MCCAULEY, Darren; HEFFRON, Raphael. "Just transition: Integrating climate, energy and environmental justice". In: *Energy Policy*. v. 119, pp. 1-7, Elsevier, 2018.
- 13 WANG, X.; LO, K. "Just transition: A conceptual review", In: *Energy Research & Social Science*. v. 82, Elsevier, 2021. p. 82.
- 14 BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME/EPE, 2020. p. 34.
- 15 CAJUEIRO, Marcelo. "Transição Energética", In: Conselho Regional de Biologia 1ª Região. *O Biólogo*, ano XIII, N.67 – jan/mar 2024, p.11. No Brasil, em setembro de 2023, a Secretaria-Geral da Presidência da República estabeleceu a mesa de diálogo "Energia Renovável: Direitos e Impactos" visando conhecer esses impactos e mediar conflitos.
- 16 BRIDLE, R. et al. *At the crossroads: balancing the financial and social costs of coal transition in China*. Winnipeg: IISD, 2017. Disponível em: <https://shorturl.at/sABLO>. Acesso em: 13 fev. 2024; CARLEY, Sanya; EVANS, T. P.; KONISKY, David M. "Adaptation, culture, and the energy transition in American coal country". In: *Energy Res. Soc. Sci.* v. 37., 2018; POLLIN, R.; CALLACI, B. "The economics of just transition: A framework for supporting fossil fuel- dependent workers and communities in the United States". In: *Labor Stud. J.* 44, 93–138, 2019; DELLA BOSCA, H; GILLESPIE, J. "The coal story: Generational coal mining communities and strategies of energy transition in Australia". In: *Energy Policy* v. 120, 2018.
- 17 IISD/GSI. *Real People, Real Change*, cit. p 1. Ver também: BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 4. De forma similar: EUROPA. *Regulamento (UE) 2021/1056 do Parlamento Europeu e do Conselho*, de 24 de junho de 2021. Disponível em: <https://rb.gy/5q65if>. Acesso em: 10 jan 2024.
- 18 EUROPA. EPRS – European Parliamentary Research Service. *Energy Poverty in the EU*.2023. p. 1.
- 19 OLAWUYI, Damilola S., "The Role of Natural Gas in a Just and Equitable Energy Transition", In: OLAWUYI, Damilola S; PEREIRA, Eduardo G. *The Palgrave Handbook of Natural Gas and Global Energy Transitions*. [S.l.]: Springer International, 2022, pp.77-78.
- 20 BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 4.
- 21 É o processo que ocorre quando forças tecnológicas, organizacionais e institucionais impedem ou retardam o desenvolvimento de alternativas de baixo ou zero carbono, em razão da proteção dos seus interesses econômicos na utilização dos bens e infraestruturas vinculadas com o setor fóssil, até o término das suas vidas úteis, vide: UNRUH, Gregory C. "Understanding Carbon Lock-In". In: *Energy Policy*. v. 28. [S.l.]: Elsevier, 2000. p.818. Ver também: "Carbon lock-in is the result of fossil fuel infrastructure or assets (existing or new) delaying or preventing the transition to near-zero or net-zero alternatives. This risk may be increased when private investors or financial institutions have a stake in those assets, as they will have an incentive in continuing the asset's operation until the end of its useful life." OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. *OECD Guidance on Transition Finance: Ensuring Credibility of Corporate Climate Transition Plans, Green Finance and Investment*. Paris: OECD, 2022.
- 22 UNRUH, Gregory C. op. cit. p.824.
- 23 UNRUH, Gregory C. op.e loc. cit; HUGHES, T. *Networks of Power*. Baltimore: Johns Hopkins University, 1983.
- 24 OECD. *Mechanisms to Prevent Carbon Lock-in in Transition Finance*, Green Finance and Investment. Paris: OECD, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/d5c49358-en>. Acesso em: 27 mar. 2024.
- 25 UNRUH, Gregory C. op. cit. p.825
- 26 Quando concretiza políticas públicas voltadas ao desenvolvimento econômico e social e à proteção dos direitos humanos e do meio ambiente, essa governança corresponde à "boa governança" de órgãos estatais, mas se realizada por atores privados é "soft-law" ou "quasi-legislation", embora efetiva quando regula áreas como direitos trabalhistas e conservação ambiental. Cf. VOLPON, Fernanda; RIBEIRO, Marilda Rosado de Sá. "Desafios da governança energética global e a participação do Brics na construção de um novo paradigma energético", In: *Revista de Direito Internacional*, Brasília, v. 15, n. 1, 2018 p.204; JACKSON, Kevin T. *Global Corporate Governance: soft law and reputational accountability*. Brooklyn Journal of International Law, v. 35, 2010. p. 44.
- 27 UNSDG - United Nations Sustainable Development Group. *Universal Values, Principle Two: leave no one behind*. Disponível em: <https://unsdg.un.org/2030-agenda/universal-values/leave-no-one-behind>. Acesso em: 18 fev 2024.
- 28 UNFCCC - COP 28 (2023). *UAE Leaders' Declaration On A Global Climate Finance Framework*. Disponível em: https://www.cop28.com/en/climate_finance_framework. Acesso em: 17 mar 2024.
- 29 APEC. *Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation*. Disponível em: https://rb.gy/fk5fhk. Acesso em: 13 fev 2024
- 30 IEA. *Recommendations of the Global Commission on People-Centered Clean Energy Transitions*. Paris: IEA, 2021. p. 4.
- 31 EUROPA. *Regulamento (UE) 2021/1056 do Parlamento Europeu e do Conselho*, de 24 de junho de 2021...Cit. Acesso em: 10 jan 2024.
- 32 BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 4-5
- 33 Em conformidade com o 9º princípio da UNGC: "encourage the development and diffusion of environmentally friendly technologies.". cf. UNGC. *The Ten Principles of the UN Global Compact*. Disponível em: https://shorturl.at/akvyK. Acesso em: 10 jan 2024.
- 34 PETROBRAS. Seminário *Caminhos para transição energética justa no Brasil*.Out/2023. Disponível em: <https://shorturl.at/CJX59>; Projeto de Desinvestimento em Carmópolis - SE, objetivando a autonomia da comunidade local impactada com o processo de desinvestimento de ativos e produção de petróleo, Cf. *Relatório de Sustentabilidade 2022*. 2022 .p. 178. Disponível em: <https://shorturl.at/xj127>. Acesso em: 20 mar 2024.
- 35 EQUINOR. "To achieve a just energy transition, we must engage in dialogue and collaboration with all our key stakeholders – our workforce, supply chain, partners, industrial customers and local communities". EQUINOR. Just transition. Disponível em: <https://shorturl.at/dfgmy>. Acesso em: 20 mar 2024.
- 36 SHELL. "Shell (...) recognises the importance of a just transition. A just transition means a fairer distribution of the costs and benefits of the world's transition to a net-zero emissions energy system. (...) by making a positive impact on our workforce, the communities where we operate and our customers. (...). In 2022, Shell UK pledged £100 million to help communities in the UK develop skills and find jobs linked to the energy transition. This includes establishing educational skill centers with the aim of helping 15,000 people find employment by 2030". SHELL. *A Just Transition*. Disponível em: <https://shorturl.at/fkSU8>. Acesso em 04 mar 2024.

- 37 RIBEIRO, Marilda Rosado de Sá; ALMEIDA, Bruno. "A Cinemática Jurídica Global: conteúdo do direito internacional privado contemporâneo". In: *Revista da Faculdade de Direito da UERJ-RFD*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 20, 2011. p. 18
- 38 EUROPA. Council of the European Union. *Documento 14545/1/18 REV 1*, 2018. Disponível em: <<https://shorturl.at/dKNR0>>. Acesso em: 10 mar 2024.
- 39 UNGC - United Nations Global Compact. *Introduction to Just Transition: A Business Brief*. 2022. p. 17; UNRISD – United Nations Research Institute for Social Development; Krause, D.; Roth, J. *Just transition(s) and transformative change*. [S.l]: Medium, 2018. Disponível em: <<https://rb.gy/9g-mg8m>>. Acesso em: 28 mar 2024.
- 40 ILO. *Frequently Asked Questions on just transition*. página eletrônica. Disponível em: <<https://shorturl.at/opsIR>>. Acesso em: 12 fev. 2024
- 41 IEA. *Recommendations...*Cit. p. 4
- 42 IISD/GSI. *Real People, Real Change...*Cit. p iv.
- 43 ITUC. *Futures Lab: Just Transition and the future of work...*Cit. Acesso em: 18 fev 2024.
- 44 "It is a holistic approach, touching every economic sector (not only energy), every region and every country", cf.. UNGC - *Introduction to Just Transition...*Cit. p. 21.
- 45 UN. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 03 dez. 2023. Vide também: UNGC - *Introduction to Just Transition...*Cit. p. 4 e 17. De igual forma, EUROPA. *Regulamento (UE) 2021/1056 ...*Cit. Acesso em: 10 jan 2024.
- 46 ITUC. *Futures Lab: Just Transition and the future of work ...*Cit. Acesso em: 18 fev 2024.
- 47 BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 6
- 48 ILO. *Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all*. Geneva: ILO, 2015. p. 4. Disponível em: <<https://shorturl.at/cwCE1>>. Acesso em: 17 fev 2024; ILO. *Frequently Asked Questions on just transition...* Cit. Acesso em: 12 fev. 2024.
- 49 IEA. *Recommendations ...* Cit. p. 4
- 50 APEC. *Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation...* Cit. Acesso em: 13 fev 2024
- 51 ITUC. *Futures Lab: Just Transition and the future of work ...*Cit. Acesso em: 18 fev 2024.
- 52 ILO. *Guidelines for a just transition ...*Cit. p.4. Acesso em: 17 fev 2024.
- 53 No Brasil, a Central Única dos Trabalhadores- CUT tem examinado o tema, vide: CUT - Secretaria Nacional de Meio Ambiente e CUT - Secretaria de Relações Internacionais. *Transição justa: uma proposta sindical para abordar a crise climática e social*. São Paulo: Central Única dos Trabalhadores, 2021.
- 54 "A just energy transition is a negotiated vision and process centered on dialogue, supported by a set of guiding principles, to shift practices in energy production and consumption. It aims to minimize negative impacts on workers and communities with stakes in high-carbon sectors that will wind down, and to maximize positive opportunities for new decent jobs in the low-carbon growth sectors of the future. It strives to ensure that the costs and benefits of the transition are equitably shared". IISD/GSI. *Real People, Real Change...* Cit. p 2.
- 55 APEC. *Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation...* Cit. Acesso em: 24 mar 2024.
- 56 ITUC. *Futures Lab: Just Transition and the future of work ...*Cit. Acesso em: 18 fev 2024.
- 57 BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 6.
- 58 IISD/GSI. *Real People, Real Change ...*Cit. p 2
- 59 APEC. *Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation...* Cit. Acesso em: 24 mar 2024.
- 60 UNGC. *Accelerating action for a just transition*. 2023. Disponível em: <<https://shorturl.at/cejKH>>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- 61 IISD/GSI. *Real People, Real Change ...*Cit. p 2.
- 62 APEC. *Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation...* Cit. Acesso em: 24 mar 2024.
- 63 IEA. *Recommendations ...* Cit. p. 4.
- 64 "Goal 8. Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all", Cf. UN. *Transforming our world: the 2030 Agenda...*Cit. Acesso em: 03 dez. 2023.
- 65 EUROPA. Council of the European Union. *Documento 14545/1/18 REV 1*, 2018. Disponível em: <<https://shorturl.at/dKNR0>>. Acesso em: 10 mar 2024.
- 66 ILO. *Guidelines for a just transition ...*Cit. p.4. Acesso em: 17 fev 2024; ILO. *Frequently Asked Questions on just transition...*Cit. Acesso em: 12 fev. 2024.
- 67 UN. *Transforming our world: the 2030 Agenda...*Cit. Acesso em: 03 dez. 2023.
- 68 ILO. *A note on the implementation of the Third United Nations Decade for the Eradication of Poverty (2018–2027)*. 2020. item 11. Disponível em: <<https://shorturl.at/cwNU1>>.
- 69 BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME/EPE, 2020. p. 36
- 70 EUROPA. *Regulamento (UE) 2021/1056 ...*Cit. Acesso em: 10 jan 2024.
- 71 BRASIL. Conselho do Programa de Transição Energética Justa. Resolução nº 4, de dezembro de 2022. Anexo 1º. *Plano de Transição Justa*. p. 4-5

- 72 UNFCCC - COP 28 (2023). *Global Renewables and Energy Efficiency Pledge*. página eletrônica. Disponível em: <<https://shorturl.at/eMPTX>>. Acesso em: 17 mar 2024.
- 73 IRENA - International Renewable Energy Agency/ ILO. *Renewable energy and jobs: Annual review 2023*. Geneva: IRENA, 2023. p. 10, 40-42.
- 74 UNFCCC - COP 28 (2023). *UAE Leaders' Declaration On A Global Climate Finance Framework...*Cit. Acesso em: 17 mar 2024.
- 75 UNFCCC - COP 28 (2023). *COP 28 Gender-Responsive Just Transitions and Climate Action Partnership*. Disponível em: <https://shorturl.at/dILOZ>. Acesso em: 17 mar 2024.
- 76 "Goal 5. Achieve gender equality and empower all women and girls", UN. *Transforming our world: the 2030 Agenda...*Cit. Acesso em: 03 dez. 2023.
- 77 ILO. *Guidelines for a just transition ...*Cit. p.4. Acesso em: 17 fev 2024.
- 78 ILO. *Frequently Asked Questions on just transition...*Cit. Acesso em: 12 fev. 2024.
- 79 UN. *Transforming our world...*Cit. Acesso em: 03 dez. 2023.
- 80 O Brasil não é um país signatário da "Silesia Declaration on Solidarity and Just Transition".
- 81 A UN. concorda e adere com: a visão; as oportunidades chaves; os desafios; e o princípio de uma transição justa estabelecidos pelo ILO, vinculando a transição energética justa com o desenvolvimento sustentável. UNGC - *Introduction to Just Transition...*Cit. p. 4,17
- 82 "11. Highlight the importance of further work on the just transition of the workforce and the creation of decent work and quality jobs, including: (...) iv) Encouraging that the transition to low greenhouse gas emission and climate resilient development is in line with the UN Sustainable Development Goals". UNFCCC - COP 24 (2018), *Solidarity and Just Transition Silesia Declaration*. Disponível em: <<https://shorturl.at/dkmp8>>. Acesso em: 10 nov. 2023
- 83 "Goal 7. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all". UN. *Transforming our world: the 2030 Agenda...*Cit. Acesso em: 03 dez. 2023.

Referências

Asia-Pacific Economic Cooperation. (n.d.). Non-Binding Just Energy Transition Principles for APEC Cooperation. Retrieved February 13, 2024, from <https://rb.gy/fk5fhk>

Brasil, Ministério de Minas e Energia, & Empresa de Pesquisa Energética. (2020, December 16). Plano Nacional de Energia 2050.

BRIDLE, R., KITSON, L., DUAN, H., SANCHEZ, L., & MERRILL, T. (2017, January 1). At the crossroads: balancing the financial and social costs of coal transition in China. <https://shorturl.at/sABLO>

CAJUEIRO, M. (2024). Transição Energética. *O Biólogo*, 13(67), 5–20.

CARLEY, S., EVANS, T. P., & KONISKY, D. M. (2018). Adaptation, culture, and the energy transition in American coal country. *Energy Research & Social Science*, 37, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.007>

CARLEY, S., & KONISKY, D. M. (2020). The justice and equity implications of the clean energy transition. *Nature Energy*, 5, 569–577. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0641-6>

Central Única dos Trabalhadores - Secretaria Nacional de Meio Ambiente, & Central Única dos Trabalhadores - Secretaria de Relações Internacionais. (2021, January 1). Transição justa: uma proposta sindical para abordar a crise climática e social.

Decreto no 9.073, (2017).

DELLA BOSCA, H., & GILLESPIE, J. (2018). The coal story: Generational coal mining communities and strategies of energy transition in Australia. *Energy Policy*, 120, 734–740. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.032>.

Documento 14545/1/18 REV 1, (2018). <https://shorturl.at/dKNR0> Equinor. (2020, January 1). Just transition. <https://shorturl.at/dfgmy>

Europa, & European Parliamentary Research Service. (2023, September 1). Energy Poverty in the EU.

GUAYO, Í., & CUESTA, Á. (2022, June 1). Towards a just energy transition: a critical analysis of the existing policies and regulations in Europe. *The Journal of World Energy Law & Business*, 15(3), 212–222.

HUGHES, T. (1983, January 1). Networks of Power.

Instituto Brasileiro de Petróleo, & Ernst & Young. (2019, January 1). Relevância do petróleo para o Brasil. bit.ly/3sjWEPB

International Energy Agency. (2020, March 23). If the Energy Sector is to Tackle Climate Change, It Must Also Think about Water. <https://shorturl.at/ejozH>

International Energy Agency. (2021, January 1). Recommendations of the Global Commission on People-Centered Clean Energy Transitions.

International Energy Agency. (2020, January 1). The Oil and Gas Industry in Energy Transitions: Insights from IEA analysis. bit.ly/47ePtqF

International Institute for Sustainable Development, & Global Subsidies Initiative. (2018, January 1). Real People, Real Change, strategies for just energy transitions.

International Labour Organization. (2020, April 24). A note on the implementation of the Third United Nations Decade for the Eradication of Poverty (2018–2027).

International Labour Organization. (2020, January 1). Frequently Asked Questions on just transition. <https://shorturl.at/opslR>

International Labour Organization. (2015, January 1). Guidelines for a just transition towards environmentally sustainable economies and societies for all. <https://shorturl.at/cwCE1>

International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. (2022, January 1). The Role of the Oil and Gas Industry in the Energy Transition. bit.ly/47gEfBY

International Renewable Energy Agency, & International Labour Organization. (2023, September 1). Renewable energy and jobs: Annual review 2023.

International Trade Union Confederation. (2022, November 12). Futures Lab: Just Transition and the future of work. <https://shorturl.at/xAR37>

JACKSON, K. T. (2010). Global Corporate Governance: soft law and reputational accountability. *Brooklyn Journal of International Law*, 35(1), 43–105.

LEAL-ARCAS, R., & FILIS, A. (2014). Certain Normative Aspects of the Institutional Architecture of Global Energy Governance. *International Economic Law and African Development*, 27–60.

MCCAULEY, D., & HEFFRON, R. (2018). Just transition: Integrating climate, energy and environmental justice. *Energy Policy*, 119, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.014>

MUINZER, T. L. (2022). Challenges in research approaches to the 'just energy transition' in legal studies and other branches of the social sciences. *The Journal of World Energy Law & Business*, 16(1), 8–17. <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwac035>

OLAWUYI, D. S. (2022). The Role of Natural Gas in a Just and Equitable Energy Transition. *The Palgrave Handbook of Natural Gas and Global Energy Transitions*, 73–95. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91566-7_3

Organization for Economic Co-operation and Development. (2022, October 3). Guidance on Transition Finance: Ensuring Credibility of Corporate Climate Transition Plans, Green Finance and Investment.

Organization for Economic Co-operation and Development. (2023, September 26). Mechanisms to Prevent Carbon Lock-in in Transition Finance, Green Finance and Investment. <https://doi.org/10.1787/d5c49358-en>

Petrobras. (2022, January 1). Relatório de Sustentabilidade 2022. <https://shorturl.at/xJ127>

Petrobras. (2023, October 1). Seminário Caminhos para transição energética justa no Brasil. <https://shorturl.at/CJX59> Plano de Transição Justa, Resolução no 4, Anexo 1o (2022).

POLLIN, R., & CALLACI, B. (2018). The economics of just transition: A framework for supporting fossil fuel-dependent workers and communities in the United States. *Labor Studies Journal*, 44(2), 93–136. <https://doi.org/10.1177/0160449X18787051>

Regulamento (UE) 2021/1056 do Parlamento Europeu e do Conselho, (2021). <https://rb.gy/5q65if>

RIBEIRO, M. R. de S., & ALMEIDA, B. (2011). A Cinemática Jurídica Global: conteúdo do direito internacional privado contemporâneo. *Revista Da Faculdade de Direito Da UERJ-RFD*, 1(20). <https://doi.org/10.12957/rfd.2011.1516>

Shell. (2024, February 29). A Just Transition. <https://shorturl.at/fkSU8>

SOKOLOWSKI, M. M., & KUROKAWA, S. (2022). Energy justice in Japan's energy transition: pillars of just 2050 carbon neutrality. *The Journal of World Energy Law & Business*, 15(3), 183–192. <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwac011>

United Nations. (2020, January 1). What Is Climate Change? bit.ly/46Ofq0u

United Nations. (2015, January 1). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

United Nations Development Program. (2022, November 4). How Just Transition Can Help Deliver the Paris Agreement. bit.ly/47fkXge

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2018, January 1). Solidarity and Just Transition Silesia Declaration. COP 24, Polônia. <https://shorturl.at/dkmp8>

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023, January 1). UAE Leaders' Declaration On A Global Climate Finance Framework. COP 28, Emirados Árabes Unidos. https://www.cop28.com/en/climate_finance_framework

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023, January 1). Gender-Responsive Just Transitions and Climate Action Partnership. COP 28, Emirados Árabes Unidos. <https://shorturl.at/dILOZ>

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023, January 1). Global Renewables and Energy Efficiency Pledge. COP 28, Emirados Árabes Unidos. <https://shorturl.at/eMPTX>

United Nations Global Compact. (2022, September 1). Introduction to Just Transition: A Business Brief.

United Nations Research Institute for Social Development, Krause, D., & Roth, J. (2018, May 3). Just transition(s) and transformative change. <https://rb.gy/9gmg8m>

United Nations Global Compact. (2023, January 1). Accelerating action for a just transition. Accelerating action for a just transition

United Nations Global Compact. (2004, January 1). The Ten Principles of the UN Global Compact. <https://shorturl.at/akvyK>

United Nations Sustainable Development Group. (2015, January 1). Universal Values, Principle Two: leave no one behind. <https://unsdg.un.org/2030-agenda/universal-values/leave-no-one-behind>

UNRUH, G. C. (2000). Understanding Carbon Lock-In. *Energy Policy*, 28(12), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)

VOLPON, F., & RIBEIRO, M. R. de S. (2018). Desafios da governança energética global e a participação do Brics na construção de um novo paradigma energético. *Revista de Direito Internacional*, 15(1), 200–220. <https://doi.org/10.5102/rdi.v15i1.5090>

WANG, X., & LO, K. (2021). Just transition: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 82, 102291. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102291>.

Mercado de Carbono: teoria econômica, prática internacional e expectativas para o Brasil

Carbon market: economic theory, international practice and expectations for Brazil

Lucas Silveira Antoun Netto

Abstract

The concentration of greenhouse gases in the atmosphere has reached levels unheard of in thousands of years, and government bodies are coming under increasing pressure to develop public policies to help control emissions. Among the different tools for achieving international emission reduction commitments (or NDCs) is the so-called "regulated carbon market", which - amid uncertainty and speculation - is already on the agenda in Brazil. In this context, the aim of this article is to establish the conceptual basis of the discussion on the carbon market, with a greater focus on the regulated modality, and to debate the current proposal before the National Congress. This article is the result of part of a master's thesis submitted to PPED/IE/UFRJ in 2023 ("CARBON MARKET IN BRAZIL: Expected Impacts of Adopting a Regulated Economic Instrument to Reduce Emissions in the National Electricity Sector"). With it, we hope to provide the reader with the necessary bases to understand the current state of the discussion on the carbon market in Brazil.

Keywords: carbon market; decarbonization; regulation

Resumo

A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera chegou a níveis inéditos em milhares de anos, e entidades governamentais têm sido cada vez mais pressionadas a atuarem na direção de desenvolver políticas públicas que contribuam para o controle das emissões. Entre as diferentes ferramentas para atingir os compromissos internacionais de redução de emissões (ou NDCs) está o chamado "mercado regulado de carbono", que - entre incertezas e especulações - já é pauta no Brasil. Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é estabelecer as bases conceituais da discussão sobre mercado de carbono, com maior enfoque à modalidade regulada, e debater a proposta atual em tramitação no Congresso Nacional. O presente artigo é fruto de parte de dissertação de mestrado submetida ao PPED/IE/UFRJ em 2023 ("MERCADO DE CARBONO NO BRASIL: Impactos Esperados da Adoção de Instrumento Econômico Regulado para Redução de Emissões no Setor Elétrico Nacional"). Com ele, espera-se municiar o leitor das bases necessárias para entender o atual estado sobre a discussão acerca do mercado de carbono no Brasil.

Palavras-chave: mercado de carbono; descarbonização; regulação.

1 Introdução

Em décadas mais recentes, a literatura científica concernente às questões ambientais é praticamente unânime em concordar que a concentração de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera chegou a níveis inéditos em dezenas de milhares de anos. Estudos recentes indicam que o aquecimento global provavelmente alcançará 1,5°C entre 2030 e 2052 caso continue a aumentar no ritmo atual (Masson-Delmotte et al., 2018, p. 4). Isto não somente ameaça a estabilidade dos ecossistemas globais, como também gera uma série de externalidades negativas para a economia e para a sociedade civil. Diante da necessidade de ações rápidas e eficientes no tocante à situação climática do planeta, organismos internacionais e nações soberanas procuram vias de mitigar este problema, promovendo a transição de uma economia carbono-dependente para uma menos nociva para com o meio ambiente. Este processo está diretamente associado a mudanças na estrutura da matriz energética mundial, dinâmica que pode ser denominada transição energética.

Sendo bens públicos os componentes de um meio ambiente saudável e estável (ar limpo e puro, ecossistemas funcionais, oceanos e rios despoluídos, entre outros), se faz pertinente criar incentivos para que indivíduos os mantenham. Um dos caminhos para esta finalidade está na regulação estatal interna para cumprimento da cooperação internacional: é onde se insere a discussão sobre a adoção de instrumentos econômicos de política ambiental e, mais precisamente, sobre a regulação sobre emissões de carbono, política pública crescente nos últimos anos em várias localidades. Atualmente são 73 iniciativas de precificação de carbono já implementadas no mundo, e calcula-se que elas cubram 23% das emissões de GEEs no planeta (The World Bank, 2023).

Entre as diferentes ferramentas para regulação das emissões a partir da precificação do carbono, uma se destaca pela expectativa de escala e de eficiência a nível global: a do comércio de emissões compulsório ou "mercado regulado de carbono", como é popularmente conhecido. Sumariamente, na modalidade clássica de comércio de emissões, o regulador (nesse caso, o governo) precifica os GEEs emitidos e estabelece teto de emissões, requerendo aos agentes econômicos posicionados acima deste nível que adquiram títulos de permissão para emitir e facultando aos agentes econômicos posicionados abaixo deste nível comercializarem suas permissões em sobra.

Esta modalidade, todavia, pode admitir diferentes dinâmicas a depender do contexto no qual ela é aplicada, de maneira que um dos desafios centrais de sua escalabilidade é aliar o caráter multifacetado das iniciativas com regras que permitam a equivalência dos diferentes modelos de mercado de carbono existentes em um único mercado internacional. O tema enquanto política pública, no entanto, pouco avançou nacionalmente e ainda é cercado de incertezas e especulações.

O presente artigo é fruto de dissertação de mestrado aprovada pelo Programa de Pós-Graduação Em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPED/IE/UFRJ). O objetivo do texto é estabelecer as bases conceituais da discussão sobre mercado de carbono e debater a proposta atual em tramitação no Congresso Nacional. Para tanto, o texto se dividirá em três principais seções.

Ao final deste artigo espera-se atingir visão sólida, a nível nacional e internacional, sobre os instrumentos econômicos prospectados para combater a tendência de aquecimento global, da teoria à prática, com destaque para aqueles regulados. Espera-se, direto ao ponto, municiar o leitor das bases necessárias para introduzir a discussão sobre o tema no Brasil.

2 Mercado de Carbono: teoria econômica e prática internacional

No estudo microeconômico, uma **externalidade** ocorre quando alguma atividade de produção ou de consumo tem um efeito indireto sobre outras atividades de consumo ou de produção que não se reflete diretamente nos preços de mercado (Pindyck; Rubinfeld, 2013, p. 619). Este descompasso pode ser classificado como uma **falha de mercado**, isto é, como uma ineficiência na alocação de bens e serviços de um determinado mercado que – por incorrer em perda líquida de bem-estar social – precisa ser corrigida a partir da **intervenção do Estado**.

Nesta conjuntura, a emissão dos poluentes se manifesta como evidente falha de mercado resultante da externalidade dos processos produtivos que se utilizam de combustível fóssil, uma vez que geram custos sociais pela poluição da atmosfera que não são compensados no preço final dos produtos. Dois são os principais embasamentos teóricos comuns ao estudo da economia da poluição (May, 2010, p. 79-98; Kupfer; Hasenclever, 2013, p. 341-352), ramificação das ciências econômicas dedicada a compreender essa sistemática: (i) a abordagem pigouviana, de internalização do dano; e (ii) a abordagem coaseana, de livre negociação.

A **abordagem pigouviana** remonta às conclusões do economista inglês Arthur Cecil Pigou (1877-1959), que representava eventual externalidade negativa causada pela produção (e.g., a poluição) como um "custo social" da atividade produtiva do agente econômico poluidor e prezava pela "internalização" deste dano no custo de produção. Mais detalhadamente, o economista apresentou os conceitos de produto marginal social líquido (i.e., o valor adicional gerado para a sociedade por cada unidade adicional produzida de um determinado bem ou serviço) e produto marginal privado líquido (i.e., o valor adicional gerado para o produtor por cada unidade adicional produzida de um determinado bem ou serviço), de maneira que quando o produto marginal social líquido fosse inferior que o produto marginal privado líquido, a intervenção no mercado se faria bem-vinda. Ou seja, para corrigir esta distorção e refletir no preço do produto todos os custos de sua produção, inclusive aqueles à sociedade, Pigou defendia a aplicação de um imposto sobre cada unidade produzida (o popular imposto pigouviano ou tributo pigouviano).

No contexto específico dos instrumentos econômicos para redução de emissões, a abordagem pigouviana se apresenta de forma um tanto quanto intuitiva, onde o agente poluidor compensa o dano gerado pela externalidade negativa "poluição" a partir do pagamento de tributação adequada – motivo pelo qual ela também é referida na literatura como "Princípio do Poluidor Pagador". De outra forma, a tributação das emissões encarece o preço final de produtos que geram muitos GEEs com vistas a reduzir seu consumo (i.e., os agentes priorizam a solução mais econômica e menos poluente).

A **abordagem coaseana**, em paralelo, trata do postulado pelo teorema do também economista inglês Ronald Harry Coase (1910-2013), que sugeriu que a solução dos problemas ambientais pode ser provida a partir da livre negociação entre partes envolvidas (nesse caso, poluidores e vítimas da poluição). Em menção expressa à obra pigouviana, Coase refuta contundentemente a análise do autor e propõe que a "natureza recíproca" de cada situação seja considerada para viabilizar a solução ótima entre as partes. Em síntese, o Teorema de Coase conclui que, estando os direitos de propriedade sobre qualquer recurso bem delineados, e sendo os custos de transação do mercado suficientemente baixos, a livre negociação entre as partes converge ao ponto de equilíbrio entre os custos e os benefícios de reduzir a poluição. No contexto específico dos instrumentos econômicos para redução de emissões, portanto, a abordagem coaseana prevê acordo livremente negociado entre as partes.

Seja via Pigou, seja via Coase, sendo a poluição uma externalidade e precisando a externalidade de medidas corretivas, é natural vislumbrar qual ou quais seriam as respostas para este tipo de situação. Essas soluções derivam das **políticas ambientais**, conceito proveniente da economia do meio ambiente que traduz o conjunto de metas e instrumentos que visam a redução dos impactos negativos da ação antrópica, sendo necessária para induzir ou forçar os agentes econômicos a adotarem posturas e procedimentos menos agressivos ao meio ambiente (May, 2010, p. 341). Para aplicação da política ambiental, a autoridade competente lança mão de instrumentos classificados por Lustosa, Cânepe e Young (2010) em três grupos: (i) os instrumentos de comando-e-controle; (ii) os instrumentos de comunicação e (iii) os instrumentos econômicos.

Os **instrumentos de comando-e-controle** (ou instrumentos de regulação direta) se viabilizam a partir do estabelecimento de regras, procedimentos e padrões por parte do órgão regulador competente (que também fiscaliza seu cumprimento por parte dos agentes poluidores e eventualmente o penaliza, caso necessário). São instrumentos de comando-e-controle a proibição ou regulação de um determinado produto, processo ou atividade, o controle do uso de certo recurso natural ou a obrigatoriedade de adoção de especificações tecnológicas no processo produtivo.

Os **instrumentos de comunicação**, nessa linha, são ferramentas de educação ambiental direcionadas aos agentes poluidores (ou mesmo ao grupo de indivíduos afetado pela externalidade) com a finalidade de facilitar a cooperação entre as partes interessadas em prol da otimização dos impactos do processo produtivo. Modelos de instrumentos de comunicação são acordos, redes de cooperação, sistemas de gestão ambiental, selos ambientais ou mesmo *marketing* ambiental.

Os **instrumentos econômicos** (ou instrumentos de mercado), por fim, almejam a internalização, por parte do agente poluidor, dos custos sociais gerados como externalidades da produção. Eles se notabilizam pela sua capacidade de gerar receita de forma simultânea ao ganho ambiental ("duplo-dividendo"), provendo um sistema mais adaptável a diferentes realidades. Como exemplos, cabe citar taxas e tarifas, subsídios, certificados de emissão transacionáveis ou sistemas de devolução de depósitos. Aqui está o escopo central do mercado de carbono.

Destarte, todos os instrumentos econômicos convencionados para redução das emissões de GEEs no planeta perpassam o conceito de precificação do carbono, isto é, a concepção de um racional de conversão do custo social gerado pelas emissões de GEEs em unidades monetárias. Simplificadamente, uma vez atribuído valor financeiro para cada unidade de emissão bem como determinado o volume de emissão permitido por agente econômico, se torna possível quantificar, objetivamente, tanto o ônus daqueles que emitirem demais, tanto o eventual bônus daqueles que emitirem de menos. Em outros termos, uma vez delineadas as regras de precificação, se torna possível desenhar sistemas que remediem o excesso de emissões, ou mesmo premiem sua redução. Nesse contexto, apesar do conceito de precificação de carbono ser pouco controverso, o racional de conversão que embasa sua execução é rodeado de indagações, especialmente sobre a definição dos pesos de cada um dos fatores associados aos agentes emissores (localização,

setor econômico, ano de produção) no cálculo. Logo, não é exagero afirmar que precificar adequadamente os GEEs emitidos é um passo elementar para estruturação de ferramentas que sejam eficientes na redução do impacto climático.

Dito isto, duas são as principais opções de instrumento econômico para redução das emissões de GEEs: (i) a da **tributação das emissões**, respaldada no conceito microeconômico de imposto pigouviano; e (ii) a do **comércio de emissões**, apoiada na concepção coaseana da livre negociação. A primeira opção sugere a cobrança de um imposto sobre as emissões, o que baliza a competitividade de preço entre produtos semelhantes, mas com diferentes pegadas de carbono. A valer, o imposto funciona, muitas das vezes, de maneira a influenciar a parcela do consumo final que é afetada pelo preço, seja reduzindo a demanda de produtos com mais emissões associadas a seu processo de fabricação, seja aumentando a demanda de produtos com menos emissões associadas a seu processo de fabricação. Além disso, as receitas arrecadadas com o imposto podem ser diretamente revertidas em financiamentos de projetos mais limpos, criando um ciclo virtuoso em favor da descarbonização. A segunda opção, por seu turno, é a que efetivamente engendra a solução a partir do dito mercado de carbono, isto é, da promoção de um sistema de comércio em que as emissões são tratadas como um ativo econômico negociável (sejam elas créditos, sejam elas permissões).

Neste ponto, já é admissível inferir que os mercados de carbono, escopo central deste trabalho, devem ser academicamente nomeados como **instrumentos econômicos de política ambiental**. Também é viável afirmar que, a despeito da pluralidade de desenhos de mercado de carbono, é possível segmenta-los enquanto compulsórios (que possuem caráter de política pública regulatória e, como tal, se notabilizam como soluções de Estado) ou voluntários (que nem sempre dependem da intervenção estatal). É o que se detalha a seguir.

Como sugerido pela nomenclatura, o **Mercado de Carbono Voluntário (MCV)** – normalmente associado ao modelo *"baseline and credit schemes"* – se materializa a partir da ação espontânea do agente econômico, que por várias motivações (e.g. genuíno interesse na neutralização da poluição, posicionamento de mercado ou acesso a financiamento) passa a integrar um mercado administrado por uma instituição privada. A dinâmica do MCV está ilustrada pela Figura 1.

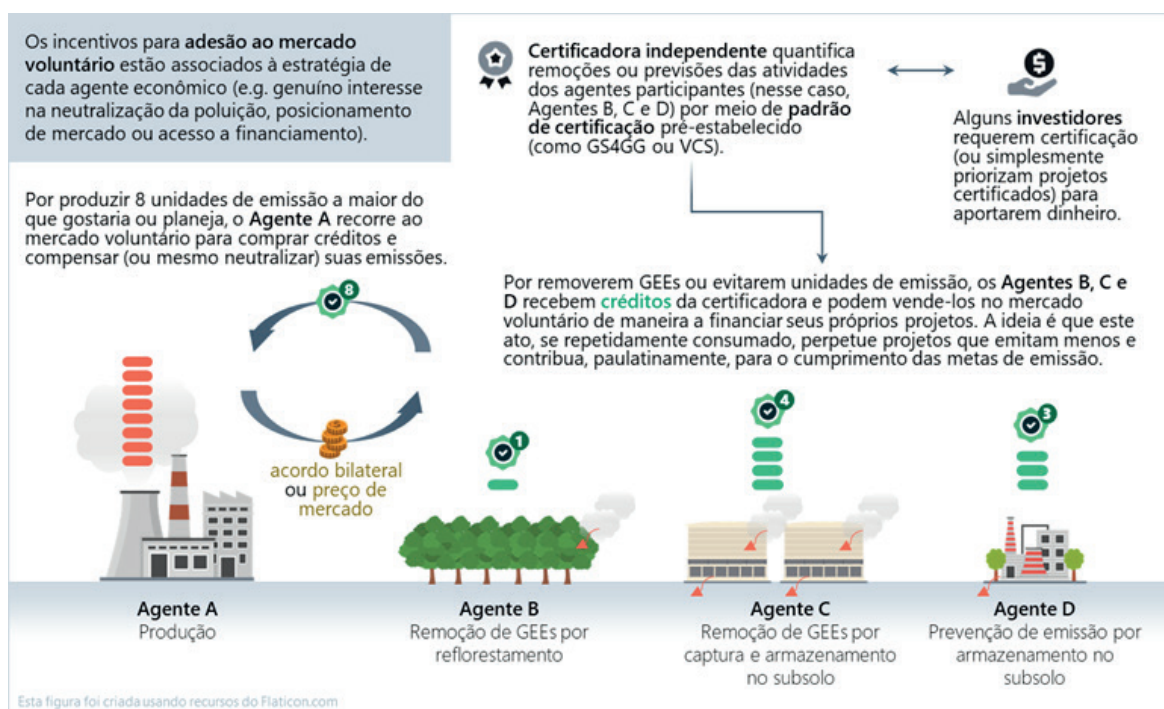


Figura 1 - Esquematização genérica e simplificada de Mercado de Carbono Voluntário (MCV)
Fonte: elaboração própria

O **Mercado de Carbono Compulsório (MCC)** se materializa a partir de determinação legal de uma autoridade competente junto ao agente econômico, que para evitar uma penalização por descumprimento (i.e., um sobrecusto de produção e, portanto, redução da margem de lucro) se torna parte integrante de um mercado administrado e regulado por um aparato governamental. A ideia do mecanismo – comumente associado ao modelo “*cap-and-trade*” – é regular forçadamente as emissões de agentes ou atividades econômicas, beneficiando as empresas posicionadas abaixo do teto de emissões estabelecido pelo governo (na intenção de comercializar suas permissões em “sobra”) e penalizando aquelas que não atingirem a meta pré-determinada.

Pormenorizadamente, o MCC se concretiza com a definição de um limite de emissões de GEEs por parte do regulador para cada setor econômico. A partir disso, o agente poluidor recebe as permissões (ou as adquire via leilão, a depender da decisão governamental) e – caso exceda o volume de emissões pré-determinado para o setor econômico que integra – pode reduzir suas emissões (aumento da eficiência), adquirir permissões para emissão no mercado (seja diretamente do sistema, seja de outras empresas que possuem saldo positivo de permissões) ou arcar com a penalidade prevista na legislação em tela. Seu funcionamento é esquematizado pela Figura 2.

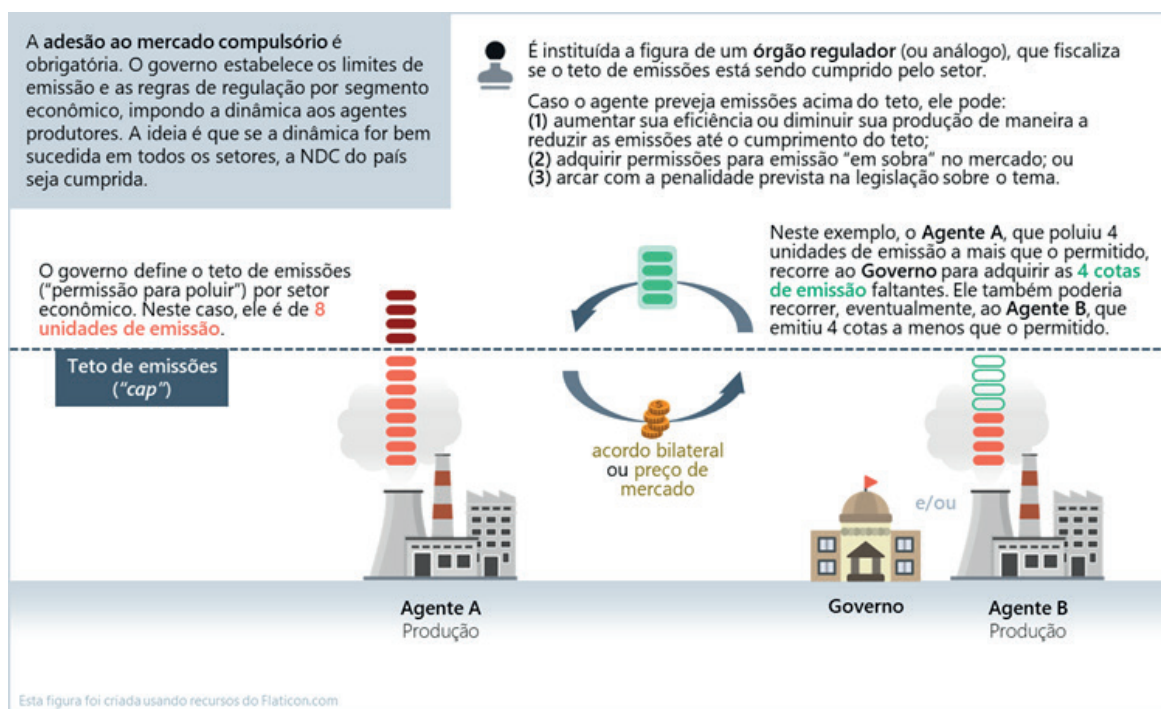


Figura 2 - Esquematização genérica e simplificada de Mercado de Carbono Compulsório (MCC)

Fonte: elaboração própria

Há 36 MCCs implementados no mundo, que juntos representam 17,64% das emissões globais de GEEs (The World Bank, 2023). Entre eles, o mercado pioneiro e melhor desenvolvido é o regime comunitário de licenças de emissão da União Europeia (UE), o *European Union Emissions Trading System (EU ETS)*. Todos os 27 Estados-Membros da UE participam do MCC europeu. A Comissão Europeia é o administrador central deste SCE e regula o mercado em conjunto com administradores nacionais. É papel da UE estabelecer, com base nas regras vigentes, a quantidade total de licenças a serem emitidas para cada país. Dentro do limite definido, as empresas recebem ou compram licenças de emissão (*European Union Allowances* ou *EUAs*) equivalentes a uma tonelada de dióxido de carbono, que podem ser comercializadas conforme necessário.

O limite diminui a cada ano, garantindo que as emissões totais diminuam. A abrangência dos setores econômicos participantes também aumenta, reforçando a movimentação rumo à descarbonização. As licenças de emissão são obtidas, prioritariamente, por meio de leilões realizados na plataforma EEX (*European Energy Exchange*), embora também possam ser atribuídas gratuitamente em circunstâncias menos comuns. O EU ETS é sujeito a um rigoroso processo de monitoramento. Até março de cada ano, os operadores devem apresentar um relatório de emissões que é verificado por uma entidade acreditada. Depois de comprovada a precisão dos dados, os operadores devem devolver o número correspondente de licenças de emissão até abril ou setembro (a depender do setor), comprovando que se mantiveram no teto de emissões ora estipulado.

No caso de inadimplência, existe uma sanção de €100 por cada tonelada de emissões não compensada. Os operadores em situação de não conformidade também têm suas informações divulgadas ao público e podem ser impedidos de realizar plenamente suas atividades, a depender do segmento econômico do qual fazem parte. Outro ponto importante é que parte dos recursos auferidos com os leilões de licenças de emissão do EU ETS estão fixamente destinados a fundos de desenvolvimento de iniciativas responsivas às alterações climáticas e outras questões socioambientais, como o Fundo de Modernização e o Fundo de Inovação. Também há um encorajamento para que a outra parte dos recursos auferidos seja empregada em políticas públicas do gênero.

3 Mercado de Carbono: expectativas para o Brasil

A discussão sobre a criação de um instrumento econômico de regulação de emissões é relativamente recente no Brasil. Apesar da definição do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) trazida pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), ainda em 2009, o debate político-institucional sobre a medida se afunilou no país de forma inédita em 2023, com a aprovação, na Câmara dos Deputados, do PL nº 412/2022 na forma do substitutivo ao PL nº 2148/2015 ("PL do Mercado de Carbono"). O texto agora volta para nova apreciação do Senado antes de seguir à sanção.

O PL do Mercado de Carbono trata tanto do MCV, tanto do MCC, por intermédio do chamado Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), aplicável a todas as atividades, fontes e instalações localizadas em território nacional que emitam ou possam emitir GEEs. A única exceção retirada do texto foram as atividades, fontes ou instalações relativas à *"produção primária agropecuária, bem como bens, benfeitorias e infraestrutura no interior de imóveis rurais a ela diretamente associados"*. A valer, portanto, as pressões políticas pela retirada do setor "Agropecuária" surtiram efeito, abrindo brecha para sua exclusão do mercado.

O SBCE seria gerido por uma governança partilhada entre três entidades: o "Órgão Superior e Deliberativo do SBCE", subordinado ao já existente CIM; o "Órgão Gestor do SBCE", autoridade nacional executora a ser indicada; e o "Comitê Técnico Consultivo Permanente", formado por representantes do poder público e de entidades setoriais representativas dos operadores, da academia e da sociedade civil com notório conhecimento sobre a matéria.

Integrado à governança, estaria o Plano Nacional de Alocação (PNA), instrumento central do MCC e diretamente relacionado ao cumprimento da NDC brasileira. Ele estabeleceria, para cada período de compromisso, (i) o limite máximo de emissões; (ii) a quantidade de CBEs a serem alocadas entre os operadores (assim como a modalidade de obtenção das cotas – gratuita ou onerosa); (iii) o percentual máximo de CRVEs admitidos na conciliação periódica de obrigações; (iv) a gestão e operacionalização dos mecanismos de estabilização de preços dos ativos integrantes do SBCE, garantindo o incentivo econômico à redução ou remoção de emissões de GEEs; (v) os critérios para transações de remoções líquidas de emissões de GEEs e (vii) outros dispositivos relevantes para implementação do SBCE. Com abordagem gradual e enfoque na proporcionalidade de emissões de GEEs dos operadores regulados e as emissões totais do Brasil, o PNA teria que ser aprovado pelo menos um ano antes do início de sua vigência, estimando a trajetória dos limites de emissão de GEEs para os dois períodos de compromisso subsequentes.

Todas as informações e dados sobre o mercado, incluindo as transações realizadas, serão disponibilizadas em plataforma digital intitulada "Registro Central do SBCE", que visa receber e consolidar informações sobre emissões e remoções de GEEs, assegurar a contabilidade precisa de concessão, aquisição, detenção, transferência e cancelamento dos ativos integrantes do SBCE, como também rastrear as transações nacionais e internacionais a eles associadas. Na prática, o Registro Central funcionará como repositório do sistema, prestando contas e informações relevantes ao acompanhamento de sua operação.

Estariam sujeitos à regulação do SBCE os operadores responsáveis por instalações que emitissem acima de 10.000 tCO₂e/ano. Estes agentes regulados definidos pelo Órgão Gestor seriam obrigados a submeterem anualmente plano de monitoramento que, uma vez aprovado, precisaria ser cumprido. A fiscalização se daria a partir do envio do relato de emissões e remoções de GEEs e do relato de conciliação periódica de obrigações. Fundamental registrar que os operadores responsáveis por instalações que emitissem acima de 25.000 tCO₂e/ano estariam sujeitos, além de todas as obrigações supracitadas, ao envio do relato de conciliação periódica de obrigações. Direto ao ponto, é por este relato que o Órgão Gestor verifica se o agente cumpriu o teto de emissões ora estabelecido a partir da averiguação do nível de emissões e dos títulos (ativos) obtidos ou transacionados no mercado.

Em caso de inadimplência, o PL do Mercado de Carbono prenuncia infrações e penalidades, que podem ser advertência, multa, publicidade da decisão condenatória e embargo, suspensão da atividade e restrição de direitos (suspensão de registro, licença ou autorização; perda ou restrição de benefícios fiscais e financiamentos; proibição de contratação com a administração pública por até 3 anos). A multa, que não pode superar 3% do faturamento bruto do operador (ou, em caso de reincidência, 4%), vai de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) a R\$ 20.000.000,00 (vinte milhões de reais).

A redação projeta que as receitas do SBCE advirão dos leilões de CBEs, da arrecadação com multas e encargos setoriais, de convênios celebrados com empresas públicas e privadas e de doações. Eles deverão ser empenhados da seguinte maneira: até 15% à operacionalização e manutenção do SBCE e do fundo gestor de seus recursos; no mínimo 5% ao Fundo Geral do Turismo (FUNGETUR), utilizados em atividades de turismo sustentável; e no mínimo, 80% depositados em fundo privado específico a ser criado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES).

Os recursos deste fundo serão objeto de um plano anual de aplicação de recursos proposto em conjunto pelo BNDES e o Órgão Gestor do SBCE. Ele priorizará (i) fomento à inovação tecnológica para o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono voltadas para os setores regulados; (ii) subvenção para apoio a investimentos para a implantação de novas tecnologias de descarbonização em fontes e instalações de operadores regulados; (iii) estabelecimento de parcerias estratégicas para o desenvolvimento de soluções voltadas para atender aos desafios tecnológicos

para a descarbonização das fontes e instalações reguladas no âmbito do SBCE; (iv) formação e capacitação de mão de obra para os setores regulados; e (v) alternativas tecnológicas voltadas para a remoção de GEEs por parte dos agentes regulados.

Finalmente, o texto define que a implementação do SBCE seja faseada, da seguinte maneira: (i) Fase I, com duração de 12 meses prorrogáveis por mais 12 meses, para regulamentação da lei; (ii) Fase II, com duração de 1 ano, para operacionalização dos instrumentos para relato de emissões; (iii) Fase III, com duração de 2 anos, para submissão – por parte dos operadores – do plano de monitoramento e apresentação de relato de emissões e remoções de GEEs ao órgão gestor do SBCE; (iv) Fase IV, para vigência do primeiro PNA, com distribuição não onerosa de CBEs; e (v) Fase V, com implementação plena do SBCE, ao fim da vigência do primeiro PNA.

Muito embora muitos temas ainda careçam de regulamentação futura por parte do Órgão Gestor, o que se desenha é um MCC semelhante ao EU ETS, associado a um MCV ainda robusto e regulado pelo governo. Assim sendo, o PL do Mercado de Carbono é positivo e atende a maior parte dos bons princípios e práticas. A redação também parece congrega a curva de aprendizado notada no EU ETS, espelhando a estrutura geral do MCC europeu. O grande ponto de atenção é que muitas das definições importantes do SBCE, caso aprovado, serão objeto de regulamentação futura, que pelo texto poderiam sair em até 24 meses.

Referências

Lucas Antoun Netto. (2024). MERCADO DE CARBONO NO BRASIL: Impactos Esperados da Adoção de Instrumento Econômico Regulado para Redução de Emissões no Setor Elétrico Nacional [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ]. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/1>

Peter H. May. (n.d.). Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. Editora Campus.

Robert Pindyck, & Daniel Rubinfeld. (n.d.). Microeconomia. Pearson.

A Jornada do projeto H2R para Navios de Perfuração Mais Sustentáveis com Produção Embarcada de Hidrogênio

The Journey of the H2R Project for More Sustainable Drillships with Onboard Hydrogen Production

Cristiano Henrique Gonçalves de Brito, Afonso Gonçalves Castro Junior, Edson Rafael Torres, Rodrigo Chamusca Machado, Sami Massalami Mohammed Elmassalami Ayad, Igor Zornitta Zanella, Franco Leonardi.

Abstract

This paper proposes an innovative strategy to reduce emissions and diesel consumption in Oil and Gas drilling vessels, focusing on onboard hydrogen production. The project addresses technological challenges, advancing from TRL 0 to TRL 3 and validating concepts through experimental methods and economic analyses. The project's development involved adding hydrogen to diesel engines in offshore vessels to optimize combustion and reduce emissions. An onboard hydrogen production system with intelligent control was proposed. Tests included performance evaluations, emissions, and safety, demonstrating the technology's viability. The project's results confirm the positive impact of hydrogen on diesel combustion, fuel consumption, and emissions. The energy balance is favorable, making the solution economically viable. The project gained international recognition with conference publications and received the Shell Safety Excellence Award. Throughout the development stages, the project met all the qualification plan requirements developed by DNV. The project can potentially add value to the energy industry by reducing diesel consumption and emissions from offshore vessels. Onboard hydrogen production has proven feasible, making it an attractive option for widespread adoption. The next phases aim to validate, produce, and integrate testing to verify compatibility and prepare the system for commercialization.

Keywords: Hydrogen; Decarbonisation; Internal Combustion Engine; Product Development; Innovation

Resumo

Este trabalho propõe uma estratégia inovadora para reduzir emissões e consumo de diesel em navios de perfuração de Óleo & Gás, enfocando a produção embarcada de hidrogênio. O projeto aborda desafios tecnológicos, avançando do TRL 0 para TRL 3, validando conceitos através de métodos experimentais e análises econômicas. O desenvolvimento do projeto envolveu a adição de hidrogênio a motores a diesel em embarcações offshore para otimizar a combustão e reduzir emissões. Foi proposto um sistema de produção embarcada de hidrogênio com controle inteligente. Testes incluíram avaliações de desempenho, emissões e segurança, demonstrando a viabilidade da tecnologia. Os resultados do projeto confirmam o impacto positivo do hidrogênio na combustão de diesel, no consumo de combustível e nas emissões. O balanço energético é favorável, tornando a solução economicamente viável. O projeto obteve reconhecimento internacional, com publicações em conferências e recebeu o Prêmio de Excelência em Segurança da Shell. Ao longo das etapas de desenvolvimento o projeto cumpriu todos os requisitos do plano de qualificação elaborado pela DNV. O projeto tem potencial de adicionar valor à indústria de energia reduzindo o consumo de diesel e emissões das embarcações offshore. A produção embarcada de hidrogênio se demonstrou viável o que torna atraente sua adoção em larga escala. As próximas fases visam a validação, produção e teste de integração para verificar compatibilidade e preparar o sistema para a comercialização.

Palavras-chave: Hidrogênio; Descarbonização; Motores de Combustão Interna; Desenvolvimento de Produto; Inovação.

1 Introdução

A transição energética global impulsiona o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis visando reduzir as emissões de carbono e atender à demanda energética. Especificamente, o setor de óleo e gás offshore, crucial para a matriz energética mundial e dependente de geradores a diesel, enfrenta desafios ambientais devido ao alto consumo de combustíveis fósseis. Este consumo não só acarreta custos econômicos significativos, mas também aumenta a pegada de carbono do setor, destacando a necessidade urgente de soluções mais sustentáveis. Segundo dados fornecidos pela Agência Internacional de Energia (IEA), as atividades offshore são responsáveis por cerca de 15% do total das emissões de gases de efeito estufa (GEE) ligadas à energia, o que representa bilhões de toneladas de CO₂ equivalente em uma base anual (IEA, 2022).

As projeções delineadas pela IEA, sob o Cenário de Emissões Zero Líquidas até 2050, sublinham a premente necessidade de diminuir estas taxas de emissão em, pelo menos, 50% dentro da presente década (IEA, 2022), salientando assim a urgência de identificar e implementar soluções energéticas tanto sustentáveis quanto eficazes para o setor offshore (IEA, 2022). Neste contexto, a Estratégia IMO 2023 estabelece objetivos ambiciosos, incluindo a redução da intensidade de carbono em 40% até 2030, com a visão de alcançar emissões líquidas zero de GEE no transporte marítimo internacional por volta de 2050 (IMO, 2021). Esta estratégia abarca um leque de medidas a curto e longo prazo, tais como a implementação de um padrão para combustíveis marítimos baseado em metas e a imposição de preços sobre as emissões de GEE marítimas, destacando a necessidade de uma transição justa e revisões periódicas.

A adição de hidrogênio em motores e geradores a diesel é uma alternativa promissora para energia sustentável, melhorando a eficiência energética e otimizando a combustão devido ao seu alto valor calorífico e rápida velocidade de combustão. (Atelge, 2022; Kumar et al., 2023). Ademais, a utilização de hidrogênio produzido a partir de fontes de energia renovável pode resultar em emissões nocivas marginalmente baixas, uma contribuição significativa para o alcance dos objetivos de sustentabilidade ambiental (Ayad et al., 2019; Bouguessa et al., 2020; Rosha et al., 2022). Essas características, somadas, posicionam o hidrogênio não apenas como um aditivo eficaz para melhorar o desempenho e a eficiência dos motores a diesel, mas também como um meio alinhado com as diretrizes de sustentabilidade ambiental (Boretti, 2020; Teoh et al., 2023).

Este trabalho propõe apresentar as rotas de um projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de um produto capaz de otimizar a combustão em motores de embarcações offshore, como navios de perfuração e barcos de apoio, usando hidrogênio para reduzir emissões de gases de efeito estufa e o consumo de diesel, alinhando-se à transição energética na indústria de Óleo & Gás. A pesquisa explora a produção de hidrogênio a bordo para enfrentar desafios de armazenamento e transporte, visando melhorar a eficiência energética e diminuir as emissões.

2 Desenvolvimento

Estudos recentes apontam que a adição de hidrogênio a motores a diesel pode otimizar a combustão, aumentando a eficiência termodinâmica e reduzindo as emissões nocivas (Lalsangi et al., 2023; Rocha et al., 2017). Entretanto, a adoção do hidrogênio como aditivo em motores a diesel enfrenta desafios significativos. Um dos principais é o incremento potencial nas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), poluentes ambientais cuja presença é amplificada pela alta temperatura de combustão do hidrogênio, conforme documentado em estudos relevantes. Para mitigar essa questão, pode-se recorrer a estratégias como soluções de pós-tratamento, ajustes operacionais para alcançar condições de baixa emissão, ou a recirculação dos gases de escape, visando um controle mais efetivo do processo de combustão (Catapan et al., 2018; Pinto et al., 2023). A ampla

faixa de inflamabilidade do hidrogênio permite que o motor funcione de maneira estável sob essas condições de combustão otimizada, expandindo assim o limite operacional inferior (LOL) do motor e contribuindo para uma operação mais eficiente (Rocha et al., 2017; Şanlı & Yılmaz, 2022). Esta estabilidade é ainda favorecida pela baixa energia mínima de ignição do hidrogênio, que facilita a formação de núcleos de chama estáveis, permitindo uma combustão mais eficaz em misturas mais pobres. Dessa forma, a incorporação do hidrogênio nos motores a diesel não apenas promete melhorias no desempenho e na eficiência energética, mas também abre perspectivas para uma gestão mais eficiente das emissões (Jordan, 2012; Pinto et al., 2023), particularmente relevante para o setor de exploração offshore (Seyam et al., 2023).

Para abordar os desafios da descarbonização das operações offshore, o projeto propõe um sistema de micro adição de hidrogênio que permite otimizar a combustão do diesel e atingir menores níveis de consumo de combustível e emissões. Tendo em vista que o consumo de diesel representa um dos maiores custos operacionais de uma embarcação offshore e, conseqüentemente, elevadas níveis de emissões de GEE, propôs-se o desenvolvimento de uma tecnologia de micro adição de hidrogênio em motores diesel de navios sonda. Essa tecnologia consiste em um sistema de produção embarcado que elimina a necessidade de armazenamento e transporte desse combustível, além de reduzir os requisitos de segurança devido ao sistema inteligente que controla a produção e injeção de hidrogênio sob demanda. Para se conceber e alcançar a maturidade da tecnologia, um projeto foi estruturado e seu nível de desenvolvimento foi avaliado conforme metodologia TRL (Nível de Prontidão Tecnológica) apresentado na Figura 1. Neste documento, será explorado os avanços obtidos até o nível de TRL 3, a partir dos quais se criou e procedeu com um plano de qualificação da tecnologia.

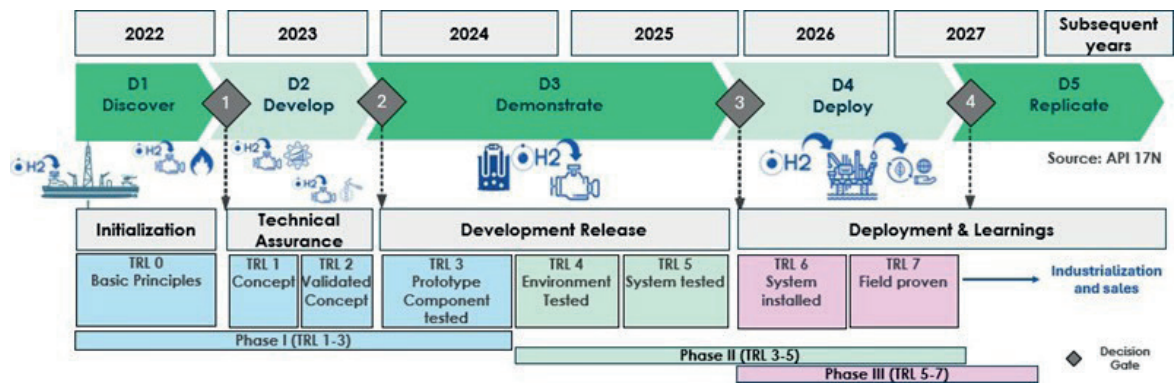


Figura 1 - Escala dos níveis de prontidão conforme API 17N
Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1. Metodologia

Para garantir uma análise abrangente e estruturada na avaliação e qualificação da tecnologia de otimização da combustão utilizando hidrogênio, bem como dos equipamentos relacionados, a metodologia sugerida está ancorada em padrões e práticas amplamente aceitos no âmbito da indústria. A Figura 2 contém um diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento do projeto

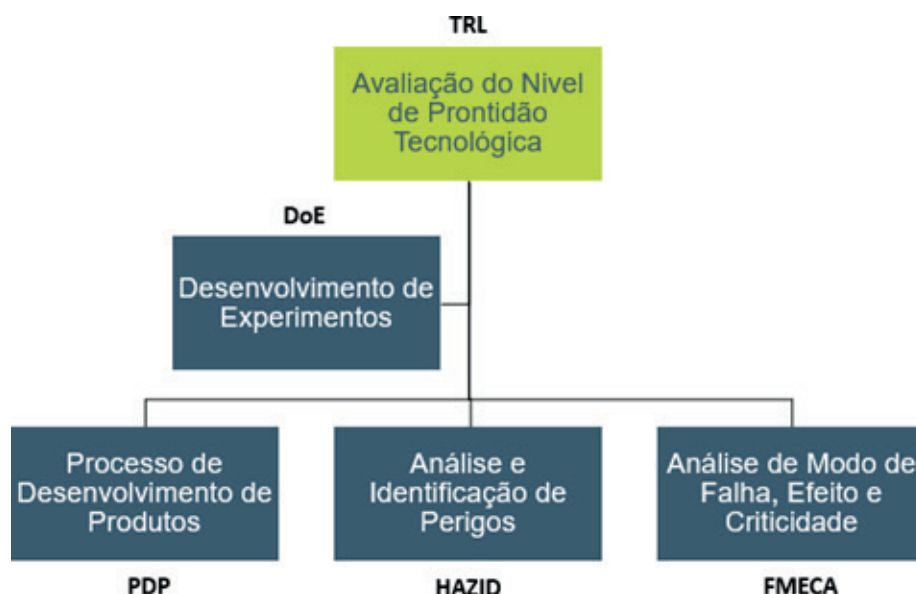


Figura 2 - Diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos aplicados

Fonte: Elaborado pelos autores.

- A avaliação do nível de maturidade tecnológica (TRL) é orientada pela API RP 17N, padrão reconhecido que delinea o desenvolvimento tecnológico desde a concepção até a implementação operacional. Este processo classifica cada componente tecnológico dentro dos níveis de TRL, facilitando a identificação de estágios de desenvolvimento, pontos críticos de validação e áreas de risco ou melhoria.
- O Plano de Desenvolvimento de Produto (PDP) estrutura o desenvolvimento e qualificação tecnológica, promovendo uma abordagem sistemática desde a concepção até a entrega e suporte pós-venda, envolvendo stakeholders e assegurando planejamento, execução e avaliação efetivos de cada fase.
- A metodologia HAZID, implementada com apoio de especialistas da DNV, identifica e avalia riscos associados à tecnologia e equipamentos, propondo medidas de mitigação e ajustes conforme necessário, garantindo a segurança operacional e ambiental.
- A análise de Modos de Falha e Efeitos e sua Análise Crítica (FMECA) quantifica falhas potenciais, avaliando probabilidade, impacto e consequências, para desenvolver estratégias de minimização de riscos e assegurar desempenho seguro e confiável.

2.2. Procedimentos

Na fase de Pesquisa Básica (TRL 0), ponto de partida do desenvolvimento, observou-se e relatou-se os princípios científicos e de engenharia relacionados ao nosso conceito. A partir daí prossegue-se para o Desenvolvimento do Conceito (TRL 1). Esta fase envolveu uma revisão da literatura e o desenvolvimento do conceito, focando na compreensão do problema, especificações gerais do projeto e funcionalidades principais do sistema. Aqui, uma avaliação adequada relacionada ao problema a ser resolvido e ao conceito e funcionalidades propostas foi apresentada.

O próximo estágio foi a Demonstração do Conceito (TRL 2). Durante essa fase, o sistema foi decomposto satisfatoriamente em subproblemas a serem resolvidos e os elementos funcionais do produto foram apresentados em um nível satisfatório de detalhe para permitir o desenvolvimento

futuro do sistema. Neste momento um teste piloto no navio sonda de perfuração NS-41 (ODNI) e testes laboratoriais, em um motor de acesso óptico na Universidade de São Paulo (USP), para avaliar a combustão e entender as causas fenomenológicas da adição de hidrogênio ao diesel. Nesta fase foram também realizados ensaios de desempenho e emissões em um motor gerador a diesel com micro adição de hidrogênio na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) para avaliar os efeitos deste fenômeno no desempenho do motor e as reduções de emissões. Um ensaio comparativo de longa duração foi realizado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para avaliar influência do hidrogênio na fragilização dos componentes do motor. Após este ensaio, as peças do motor foram enviadas para estudo metalográfico detalhado na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), onde se avaliou a influência do hidrogênio no desgaste e fragilização dos componentes do motor. Também nos concentramos na validação de modelos preditivos e na otimização do código de inteligência.

Por último, chegamos à fase de Desenvolvimento do Protótipo (TRL 3). Os testes laboratoriais focaram no desempenho e nas emissões de um motor turboalimentado de alta velocidade da UFMG, otimizado pelo sistema desenvolvido. As atividades foram alinhadas com a definição de TRL 3: desenvolvimento de protótipo para testes funcionais e de desempenho. A atividade foi realizada em linha com os relatórios HAZID e FMECA, correlacionando os modos de falha e cenários acidentais com ações para demonstrar funcionalidade, desempenho e segurança.

3 Resultados

3.1. Avaliação dos TRL 0 e TRL 1

Durante a fase inicial, TRL 0 e TRL 1, foi constatado, através de uma extensiva revisão bibliográfica, que a inserção de hidrogênio nos processos de combustão apresenta benefícios substanciais, os quais são amplamente documentados em termos de melhorias na combustão, desempenho do motor e redução de emissões. A utilização de hidrogênio enriquecido com oxigênio (HHO) surge como uma solução pragmática para superar os desafios associados ao armazenamento e transporte, facilitando a adoção de hidrogênio gasoso como combustível ou aditivo em motores diesel marítimos. No âmbito da fragilização por hidrogênio, não foram identificados estudos que avaliassem esse impacto sob condições análogas às deste projeto, justificando assim a necessidade de condução de ensaios específicos para quantificação desse efeito, especialmente quando consideradas adições em pequenas quantidades, como proposto neste estudo. Adicionalmente, foi reconhecida a existência de uma vazão ideal de hidrogênio que maximiza os benefícios em termos de emissões e desempenho do motor. Foi identificado que a determinação desse ponto ótimo pode ser alcançada por meio de análises exergética e exergoeconômica.

3.2. Avaliação do TRL 2

A partir do TRL 2, o desenvolvimento se dividiu em desenvolvimento de experimentos e desenvolvimento de produto. A análise abrangente do estudo experimental, demonstrou inequivocamente que mesmo pequenas quantidades de hidrogênio, quando adicionadas ao diesel em motores diesel, têm o potencial de aumentar a eficiência da combustão, o que pode levar à redução do consumo de combustível e das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tanto os ensaios desenvolvidos na embarcação NS-41 (ODNI) quanto os ensaios desenvolvidos em laboratório apontaram para os benefícios da micro adição de hidrogênio na combustão do diesel e sinalizaram para redução de consumo superiores a 6%, especialmente em condições de baixa carga como as que são observadas em ciclos de operação de navios sonda.

Os ensaios de longa duração trouxeram indícios favoráveis para o uso da tecnologia. Foram desenvolvidos teste de durabilidade com motor em ambiente de laboratório, comparando bancada motor diesel/dinamômetro (sem aditivo) e bancada idêntica com motor diesel/dinamômetro (sem aditivo), os resultados foram favoráveis pois os elementos do motor que tiveram contato com o hidrogênio foram removidos, preparados e analisados em laboratório em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) e não apresentaram desgastes diferentes aos mesmos elementos avaliados para o motor que não sofreu a micro adição. Outro fator importante foi que, durante o teste de durabilidade, foram feitas comparações nas amostras de óleo retiradas das mesmas bancadas que estavam sendo testadas e o resultado de laboratório, mostrou que não houve degradação das propriedades do óleo lubrificante, tão pouco, mudança nas características dos parâmetros operacionais de pressão e temperatura deste mesmo óleo nas mesmas condições submetidas.

Na fase de desenvolvimento do produto, o projeto foi dividido em três áreas principais: Mecânica; Elétrica, Instrumentação e Controle; e Software. A área de Mecânica focou no design estrutural, arranjos mecânicos, dimensionamento de geradores de hidrogênio e equipamentos auxiliares, além da fabricação e montagem. Elétrica, Instrumentação e Controle se encarregou dos arranjos elétricos, sistemas de potência, controle, dimensionamento de componentes e montagem dos sistemas eletrônicos e de controle. Software se concentrou em desenvolver a inteligência do produto, definindo lógica de controle e criando o software para gerenciar a produção e injeção de hidrogênio, baseando-se nas condições operacionais do motor.

Como resultado destes esforços somados alcançou-se a concepção de um produto capaz de atender não só ao mercado de óleo e gás offshore, mas também aos setores de mineração, logística ferroviária e naval; e setor de geração de energia termoeletrica. Um produto capaz de propiciar benefícios de redução de emissões de gases de efeito estufa e de redução do consumo de diesel com os diferenciais de realizar a mínima intervenção no equipamento existente, de promover uma otimização dinâmica da combustão sem a necessidade de armazenar hidrogênio.

3.3. Avaliação do TRL 3

A primeira etapa do estágio do TRL 3 consistiu em compilar os resultados das observações e estudos das fases anteriores para se estruturar estudos de Análise e Identificação de Perigos (HAZID) e de Análise de Modo de Falha, Efeito e Criticidade (FMECA). A partir do estudo da literatura foram determinados os efeitos do hidrogênio em motores diesel (Figura 3) e os mecanismos de dano associados a utilização de combustíveis gasosos em motores de combustão interna (Figura 4).

A análise de risco conduzida avaliou o sistema H2R, considerando seis categorias de stakeholders e subdivisões em subsistemas de produtos, além da mobilização e instalação. Uma equipe multidisciplinar, utilizando a metodologia HAZID, examinou todas as operações potencialmente danosas a pessoas, meio ambiente, equipamentos ou instalações. O objetivo foi identificar cenários acidentais potenciais, listar salvaguardas existentes, classificar riscos segundo frequência e gravidade, e sugerir melhorias conforme necessário.

Nessa avaliação qualitativa, focou-se nos riscos relacionados à mobilização/instalação e aos sistemas específicos, incluindo purificação de água, eletrólise, purificação de gás, condução de tubulações até o motor e injeção de H₂. Foram analisados vinte e quatro cenários acidentais, resultando em 17% classificados como médio risco e 83% como baixo risco, sem identificação de alto risco segundo a classificação vigente (Figura 5). Após considerar recomendações, a classificação de risco residual mostrou uma melhoria, com apenas 4% dos cenários em médio risco e 96% em baixo risco, evidenciando o potencial de redução de riscos com as recomendações propostas (Figura 5).

	Parameter	Low load level		High load level	
		H ₂ /Low Diesel	H ₂ /High Diesel	H ₂ /Low Diesel	H ₂ /High Diesel
PERFORMANCE	Energy efficiency	↓↑	↓↑	↑	↑↑
	Volumetric efficiency	↓	↓	↓	↓
	Maximum pressure	↑	↑	↑	↑
	Heat emission	↑	↑	↑	↑
	Premature ignition	↓↑	↑	↓↑	↑↑
EMISSIONS	CO ₂	↓	↓↓	↓	↓↓
	Hidrocarbonets and CO	↓	↓	↓	↓
	Particulate	↓	↓	↓	↓
	NOx	↓	↑	↓	↑↑

Figura 3 - Quadro de efeitos do hidrogênio sobre a operação do motor diesel com adição de hidrogênio
Elaborado pelo autor a partir de dados extraídos de (refs)

Components	Materials	Corrosion		Thermal damage			Friction wear	
		Fuel	Fuel + products	Supply	High combustion temperature	Abnormal combustion	Gaseous environment	Contaminated lubricating oil
Piston	Cast iron, aluminum alloy	X	X		X	X	X	X
Piston ring	Cast iron, steel	X	X		X	X	X	X
Cylinder liner	Cast iron, aluminum alloy	X	X		X	X	X	X
Valves	Steel, titanium alloy	X	X		X	X	X	
Valve seats	Stainless steel, copper alloy	X	X		X		X	
Crankshaft bearing	Bronze, babbitt metal	X	X				X	X
Fuel injectors	Steel, ceramic	X					X	
Pressure regulators	Steel, aluminum alloy	X		X				
Cylinder head	Cast iron, aluminum alloy	X	X		X	X		
Intake manifold	Steel	X				X		
Piston pin	Carbon steel, alloy steel						X	X
Connecting rod bushing	Copper alloy						X	X
Crosshead slipper	Copper alloy						X	X
Heat exchanger tubes	Copper alloy	X						
Fuel line	Steel, rubber	X						
Cam	Steel							X
Spark plug	Copper-nickel alloy, noble metal	X				X	X	

Figura 4 - Mecanismos de dano dos componentes de motor de combustão interna alimentado com combustíveis gasosos | Elaborado pelo autor



Figura 5 - Gráficos de distribuição da classificação de acidentes
Elaborado pelo autor

Durante os estudos de FMECA, os principais modos e mecanismos de falha do sistema foram identificados e discutidos. Os possíveis efeitos para o sistema, bem como as salvaguardas e possíveis soluções para minimizar os riscos, também foram discutidos. O foco da discussão nesta avaliação foi relacionado à funcionalidade e ao desempenho do sistema, aos aspectos relacionados aos perigos operacionais e às questões de segurança são discutidos no estudo HAZID.

Um total de 23 modos de falha foi identificado e discutido juntamente com vários mecanismos de falha (cerca de 57), o que resultaram em 36 efeitos de sistema com consequências potencialmente altas e 16 efeitos de sistema com consequências potencialmente médias. Entretanto, como resultado do projeto e das salvaguardas, a probabilidade de ocorrência dos mecanismos de falha associados foi identificada como baixa e os níveis de risco foram definidos entre médio e baixo. Embora a probabilidade seja baixa, todos os efeitos do sistema com consequências potencialmente altas foram definidos como risco/criticidade médio e devem ser discutidos em mais detalhes nas atividades de qualificação. Em geral, é identificada como baixa a probabilidade de que qualquer um dos sistemas não desempenhe adequadamente suas funções.

O Protótipo MVP foi desenvolvido a partir dos conhecimentos obtidos dos testes dos subsistemas, após as etapas de definição de requisitos, projeto dos sistemas do produto e validação laboratorial. O desafio era integrar todos os sistemas e garantir o bom funcionamento de cada etapa da produção de H₂, controle de inteligência e controle de potência, tornando o sistema de purificação de água mais robusto, enquanto a secagem do hidrogênio foi descontinuada devido ao alto gasto energético. Com os sistemas individuais validados em bancada, iniciou-se o projeto e fabricação do módulo mecânico de eletrólise, fazendo melhorias de projeto nos demais sistemas.

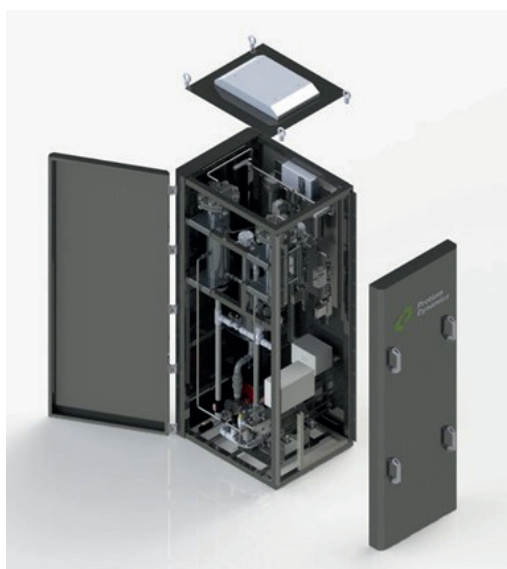


Figura 6 - Projeto do sistema H2R
Elaborado pelo autor

Dentro da volumetria proposta, diversos layouts foram ensaiados em ambiente 3D digital até a definição do que melhor atendesse o desempenho e a ergonomia de montagem e manutenção desejados. A fabricação da estrutura e dos tanques foram realizadas com parceiros externos, mas a montagem e interligação foi realizada pela equipe multidisciplinar da LZ Energia. Em cerca de 2 semanas montou-se o protótipo para iniciar os testes internos, que passou por uma qualificação interna focando em entender as características finais do conjunto e desenvolver uma automação que propicie segurança de operação, performance e respeito às condições de trabalho de cada componente.

O plano de testes foi desenvolvido com auxílio da DNV, focando no cumprimento dos requisitos de TRL e nas diretrizes de segurança da norma ISO 22734. Nessa etapa, focou-se em testar as funcionalidades e as salvaguardas de segurança propostas, adequando as lógicas e observando melhorias para o produto final.



Figura 7 -Protótipo montado
Elaborado pelo autor

Foram ensaiadas e aprimoradas rotinas de trabalho, e todos os modos de falha foram ensaiados para garantir que os respectivos mecanismos de fail-safe fossem corretamente acionados, assegurando que a segurança operacional seja mantida mesmo em cenários de falha de componentes. Também foi nessa etapa que adicionou-se algumas funções de recuperação de água de condensado, visando reduzir o custo energético da produção de hidrogênio. Com os testes de funcionalidade e segurança realizados de forma integrada, a equipe aumentou sua confiança no produto, estando apto a iniciar testes laboratoriais focados na aplicação do hidrogênio em motores diesel. Ao final podemos dizer que o protótipo precisou de pequenos ajustes, mas completou a qualificação interna com excelentes resultados de segurança e performance.

O desafio restante, entretanto, é demonstrar que o desempenho esperado será alcançado pelo sistema H2R. Isso se alinha à nossa meta de desenvolvimento de criar uma solução comercialmente viável que aproveite a produção de hidrogênio a bordo para reforçar os benefícios ambientais e de desempenho dos motores a diesel.

Ao demonstrar que mesmo pequenas quantidades de hidrogênio afetam significativamente a combustão do diesel, o estudo comprova a premissa de que a energia necessária para a produção de hidrogênio a bordo pode ser compensada pelos benefícios resultantes da eficiência da combustão do diesel e da redução das emissões. Além disso, a integração de um sistema capaz de produzir hidrogênio sob demanda elimina a necessidade de uma ampla infraestrutura de armazenamento de hidrogênio, apresentando, assim, uma estratégia de transição viável para o uso de combustível mais limpo no setor offshore. A adoção da tecnologia de produção e enriquecimento

de hidrogênio a bordo representa um passo tangível para a redução da pegada de carbono dos motores a diesel, uma consideração crucial à luz das regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas e do imperativo global de combater as mudanças climáticas.

Os resultados obtidos até o momento no projeto confirmam várias hipóteses relacionadas ao impacto positivo do hidrogênio na combustão do diesel, no consumo de combustível e nas emissões. O balanço energético mostrou-se favorável, com o aumento da eficiência sendo superior à energia necessária para produzir hidrogênio, e a solução foi determinada como economicamente viável do ponto de vista termoeconômico, após análise técnico-econômica.

No que diz respeito às outras métricas de sucesso de um projeto e lições aprendidas, nosso projeto ganhou visibilidade e reconhecimento significativos. Publicamos e apresentamos em 4 conferências internacionais, abordando diferentes aspectos do nosso projeto. Além disso, submetemos um artigo de pesquisa a um periódico de alto impacto, e fomos agraciados com o Prêmio de Segurança da Shell Brasil Petróleo Ltda. e cumprimos todos os objetivos do nosso plano de qualificação, desenvolvido pela DNV.

4 Considerações Finais

Os resultados alcançados e os novos conhecimentos gerados pelo nosso projeto têm o potencial de contribuir significativamente para a indústria de energia, especialmente no setor de petróleo e gás offshore. A implementação bem-sucedida de nosso sistema de produção embarcado de hidrogênio em motores a diesel pode revolucionar a forma como essa indústria lida com o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa. A solução proposta não apenas aumenta a eficiência energética, mas também é economicamente viável, o que a torna uma opção atraente para adoção em larga escala.

Olhando para o futuro, a próxima etapa é avançar para os Níveis de Prontidão Tecnológica 4 e 5, focando na validação do sistema pré-produção e testes de interface do sistema de produção. Estas fases serão cruciais para refinar ainda mais o sistema, torná-lo completamente compatível com as operações em ambientes offshore e prepará-lo para eventual comercialização.

5 Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Shell Brasil Petróleo Ltda com recursos da regulamentação técnica de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANP (Agência Nacional de Petróleo).

Referências

Şanlı, A., & Yılmaz, İ. T. (2022). Cycle-to-cycle combustion analysis in hydrogen fumigated common-rail diesel engine. *Fuel*, 320(320). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123887>

Atelge, M. R. (2022). Experimental study of a blend of Diesel/Ethanol/n-Butanol with hydrogen additive on combustion and emission and exetetic evaluation. *Fuel*, 325, 124903. <https://doi.org/doi.org/10.016/j.fuel.2022.24903>

Ayad, S. M. M. E., Belchior, C. R. P., da Silva, G. L. R., Lucena, R. S., Carreira, E. S., & de Miranda, P. E. V. (2020). Analysis of performance parameters of an ethanol fueled spark ignition engine operating with hydrogen enrichment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(8), 5588–5606. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.151>

Boretta, A. (2020). Hydrogen internal combustion engines to 2030. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(43), 23692–23703. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.022>

Bouguessa, R., Tarabet, L., Loubar, K., Belmrabet, T., & Tazerout, M. (2020). xperimental investigation on biogas enrichment with hydrogen for improving the combustion in diesel engine operating under dual fuel mode. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(15), 9052–9063. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.003>

Catapan, R. C., Cancino, L. R., Oliveira, A. A. M., Schwarz, C. O., Nitschke, H., & Frank, T. (2018). Potential for onboard hydrogen production in an direct injection ethanol fueled spark ignition engine with EGR. *Fuel*, 234, 441–446. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.fuel.2018.07.023>

IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

IMO. (2021). *Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report*. International Maritime Organization. <https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

Jordan, E. A. (2012). *Hydrogen Enrichment in Internal Combustion Engines: An Investigation of Performance and Emissions Using Hydrogen-Ethanol Bi-fueling* [Ph.D. Thesis, University of California]. https://itspubs.ucdavis.edu/publication_detail.php?id=2159

Kumar, A., Bhushan Kumar, C., & Lata, D. B. (2023). Effect of hydrogen enrichment on exhaust gas temperature and emission of a dual fuel diesel engine. *Materials Today: Proceedings*, 72(Part 3), 631–635. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.232>

Lalsangi, S., Yaliwal, V. S., Banapurmath, N. R., Soudagar, M. E. M., Balasubramanian, D., Sonthalia, A., Varuvel, E. G., & Wae-Hayee, M. (2023). nfluence of hydrogen injection timing and duration on the combustion and emission characteristics of a diesel engine operating on dual fuel mode using biodiesel of dairy scum oil and producer gas.

International Journal of Hydrogen Energy, 48(55), 21313–21330. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.305>

Pinto, G. M., de Souza, T. A. Z., da Costa, R. B. R., Roque, L. F. A., Frez, G. V., & Coronado, C. J. R. (2023). Combustion, performance and emission analyses of a CI engine operating with renewable diesel fuels (HVO/FARNESANE) under dual-fuel mode through hydrogen port injection. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(51), 19713–19732. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.020>

Rocha, H. M. Z., Pereira, R. da S., Nogueira, M. F. M., Belchior, C. R. P., & Tostes, M. E. de L. (2017). Experimental investigation of hydrogen addition in the intake air of compressed ignition engines running on biodiesel blend.

International Journal of Hydrogen Energy, 42(7), 4530–4539. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.032>

Rosha, P., Kumar, S., Senthil Kumar, P., Kowthaman, C. N., Kumar Mohapatra, S., & Dhir, A. (2022). Impact of compression ratio on combustion behavior of hydrogen enriched biogas-diesel operated CI engine. *Fuel*, 310(Part B), 122321. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122321>

Seyam, S., Dincer, I., & Agelin-Chaab, M. (2023). Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of a potential marine engine powered by eco-friendly fuel blends with hydrogen. *Energy*, 284, 129276. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.energy.2023.129276>

Teoh, Y. H., How, H. G., Le, T. D., Nguyen, H. T., Loo, D. L., Rashid, T., & Sher, F. (2023). A review on production and implementation of hydrogen as a green fuel in internal combustion engines. *Fuel*, 333(Part 2), 126525. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126525>



Política energética e sustentabilidade na COP29 e COP30: principais discussões e metas

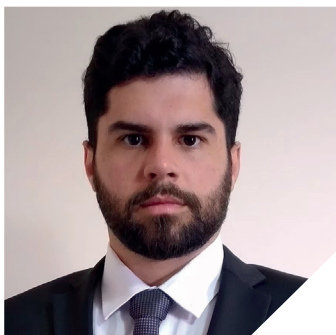
**(Gerência de Análises Técnicas
do Setor de Óleo e Gás)**

**Aldren Vernersbach, Isabella Costa, Leonardo Lima,
Juliana Barretto e Vinícius Daudt**



Isabella Costa

Pós-doutorado no Departamento de Engenharia Química – LEPABE / FEUP – Universidade do Porto, Portugal; Pós-doutorado no Programa de Planejamento Energético – PPE/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Especialista em Energia, Descarbonização e Sustentabilidade dos Setores de Petróleo e Gás e Mineração. Gerente de Análises Técnicas de Petróleo e Gás do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.



Aldren Vernersbach

Economista, especialista no setor de energia, infraestrutura, transição energética, regulação, política energética e investimentos.



Leonardo Lima

Economista e M.e Economia Política Internacional, atualmente Analista Econômico Sênior no Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP). Especialista em integração econômica, políticas industriais e mercados de commodities.



Juliana Barretto

Graduanda de ciências econômicas na Universidade Federal Fluminense e profissional do setor de óleo e gás.



Vinícius Daudt

Economista pelo Instituto de Economia - UFRJ.

1 Introdução

A mudança climática é um dos desafios da atualidade, exigindo uma transformação no modelo de desenvolvimento econômico mundial, colocando a sustentabilidade em seu cerne. Os efeitos da transformação do clima conduziram à definição de acordos globais para impor regulações e metas para a descarbonização da economia.

Diante desse desafio, em 1992 foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), o primeiro tratado global sobre o controle de emissões, que serviu de base para os demais acordos sobre a mitigação da mudança climática e a sustentabilidade ambiental.

Foi por meio da UNFCCC que se concebeu a Conferência das Partes (COP), o órgão onde são discutidas e definidas as ações para implementar os compromissos assumidos pelos países para mitigar e combater a mudança do clima (198 países participam da UNFCCC). Logo, a COP é a instância de debate e a reunião para as partes signatárias do Protocolo de Quioto e do Acordo de Paris mensurarem os resultados dos planos de mitigação, bem como determinarem a atualização de metas e apontarem os investimentos imprescindíveis para a redução de emissões.

O Acordo de Paris foi formulado em 2015 com o objetivo principal de robustecer e consolidar a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos derivados dessas alterações no meio ambiente. O compromisso firmado objetiva manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de empenhar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Cabe ressaltar que a transição energética gradativa, justa e equitativa é um dos pilares do conjunto de ações para mitigar e combater a mudança climática, levando à definição de um planejamento de redução das emissões por meio de investimentos em fontes de baixo carbono, atrelados à garantia da segurança energética.

Portanto, a diversificação dos investimentos em fontes de energia é um dos principais temas abordados nas COPs, em face da sua transversalidade na economia. O financiamento de novas tecnologias de mitigação das emissões e adaptação às mudanças também é destaque nas reuniões.

A anualidade da COP proporciona o acompanhamento das ações e a atualização do planejamento para o alcance das metas estabelecidas, o que permite adequações conforme os compromissos ambientais são ampliados. Nesse sentido, cada reunião adiciona desdobramentos das discussões ao plano de descarbonização global.

Como cada COP tem particularidades resultantes das propostas de metas ambientais, analisar as suas mais destacadas definições auxilia na compreensão da trajetória de evolução das ações de mitigação e controle das emissões ao longo das conferências. Desse modo, esta análise objetiva identificar as especificidades dos compromissos da COP29, apontando as decisões quanto às metas globais, além de indicar quais os assuntos já são considerados de destaque para a COP30 no Brasil.

2 COP29: principais resultados e perspectivas futuras

A COP29, realizada em Baku (Azerbaijão) em 2024, marcou mais um capítulo nas negociações climáticas globais. Reunindo líderes mundiais, cientistas, ativistas e representantes da sociedade civil, a conferência teve como objetivo principal acelerar a implementação do Acordo de Paris e aumentar a ambição climática.

Na COP29, dentre os temas nos quais as discussões foram focadas, estavam: (i) garantir uma nova meta para o financiamento climático; (ii) garantir que todos os países tenham os meios para tomar medidas climáticas muito mais eficazes; (iii) reduzir as emissões de gases de efeito estufa; (iv) construir comunidades resilientes para se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas e atingir emissões líquidas zero até 2050 (UNFCCC, 2024a).

No entanto, os resultados da COP29, especialmente no que diz respeito ao financiamento climático, geraram debates extensos, revelando a complexidade das negociações internacionais e a urgência de encontrar soluções mais ambiciosas para enfrentar a crise climática. Dentre as definições da COP29, destaca-se a nova Meta Quantitativa Coletiva de Financiamento Climático (NCQG) (UNFCCC, 2024b).

Os principais destaques relacionados ao financiamento climático são:

- Aumento do financiamento: Os países desenvolvidos liderarão o fornecimento de pelo menos US\$ 300 bilhões anualmente até 2035 para os países em desenvolvimento, no intuito de acelerar a implementação de ações climáticas que mitiguem os efeitos das transformações ambientais. Esse montante representa um aumento em relação à meta anterior de aproximadamente US\$ 100 bilhões por ano;
- Fontes de financiamento: O financiamento virá de uma variedade de fontes, incluindo públicas e privadas, bilaterais e multilaterais, com a intenção de explorar também fontes alternativas. Desse modo, amplia-se a possibilidade de aumentar o montante disponível para investimentos em sustentabilidade;
- Condições para o financiamento: O financiamento será fornecido no contexto de ações climáticas significativas (mitigação e adaptação), com transparência na implementação do conjunto de ações financiadas;
- Foco nas necessidades: A meta visa apoiar os países em desenvolvimento na implementação de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e planos de adaptação, refletindo as suas necessidades específicas e as prioridades de transformação em evolução;
- Foco nos países vulneráveis: O documento reconhece os desafios específicos enfrentados pelos Países Menos Desenvolvidos (PMDs) e Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (PEIDs) e incentiva o aumento dos dispositivos de apoio a esses países;
- Enfrentamento de barreiras de acesso: O acordo elaborado na COP29 enfatiza a necessidade de abordar as barreiras que dificultam o acesso ao financiamento climático para os países em desenvolvimento. Isso inclui reduzir altos custos de transação, simplificar processos de aplicação dos recursos e fornecer mais financiamento concessional (empréstimos com taxas de juros mais baixas ou prazos de reembolso mais longos);
- Instituições multilaterais: O documento conclama os bancos multilaterais de desenvolvimento a melhorar suas abordagens para o financiamento climático e priorizar as necessidades dos países em desenvolvimento;
- Transparência e relatórios: Os países desenvolvidos devem relatar de forma transparente o apoio que fornecem aos financiamentos das ações para o clima, e outros países precisam ser incentivados a fazer o mesmo;
- Revisões regulares: O progresso em direção à meta será avaliado regularmente por meio do balanço global, e uma avaliação especial sobre o acesso ao financiamento climático será realizada em 2030.

A COP29 resultou em um acordo que estabeleceu uma meta de financiamento climático de US\$ 300 bilhões anuais. No entanto, essa meta foi recebida com ressalvas por parte de diversos setores da sociedade civil e de países em desenvolvimento, que a consideram insuficiente para atender às necessidades urgentes de adaptação e mitigação das mudanças climáticas (UNFCCC, 2024c).

A lacuna entre os US\$ 300 bilhões acordados e a demanda estimada em US\$ 1,3 trilhão evidencia a persistência de uma insuficiência financeira que compromete a efetividade das ações climáticas nos países mais vulneráveis. Essa decisão, tomada em meio a intensas negociações, gerou debates sobre a efetividade do multilateralismo climático e sobre a capacidade dos países desenvolvidos em cumprir os seus compromissos financeiros.

A montante de US\$ 300 bilhões anuais, embora represente um aumento em relação ao valor anteriormente acordado, precisa ser ajustado, no intuito de atender às necessidades urgentes dos países em desenvolvimento, especialmente os mais vulneráveis às mudanças do clima. Ressalte-se que o acordo não apresentou os detalhes sobre como a meta de financiamento será alcançada. A ausência de mecanismos claros para mobilizar esses recursos essenciais, tanto públicos quanto privados, indica ser necessário foco na estipulação dos meios de financiamento. Diante desse cenário, nota-se que os mecanismos de monitoramento e avaliação do progresso em direção às metas financeiras ainda precisam ser aprimorados.

A análise das definições da COP29 aponta que são necessários esforços na área de financiamento para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono, permitindo o desenvolvimento de novas tecnologias de mitigação e adaptação climática. A meta de US\$ 100 bilhões anuais para a transição, estabelecida no Acordo de Paris, ainda não tem sido cumprida. Assim, a dificuldade para a implementação do acordo gera obstáculos e dificulta a mobilização de recursos para a ação climática.

Logo, é preciso formular propostas de novos mecanismos financeiros que possibilitem alcançar um consenso que seja justo e equitativo para todos os países no que tange à transição energética, descarbonização e garantia de acesso à energia.

O financiamento climático é imprescindível para a implementação dos planos de mitigação dos efeitos das alterações do clima e adaptação da infraestrutura e atividades econômicas. Como cada nação tem condições particulares quanto ao planejamento das ações climáticas, além de capacidades específicas de organização, investimento e financiamento de grandes projetos, cada país têm a tarefa de definir a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) para reduzir as emissões globais.

O Brasil reformulou a sua NDC em 2025, atualizando os parâmetros para a definição de metas, o conjunto de ações para mitigar emissões e adaptar as atividades econômicas, bem como as metas para a descarbonização. As diretrizes atuais indicam os compromissos do país com o aumento da sustentabilidade nas atividades econômicas, em busca de uma economia de baixo carbono e garantia da segurança energética (MMA, 2025a).

3 A nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil

No âmbito do acordo para a descarbonização da economia global, cada país possui um conjunto de ações que formam o seu compromisso individual com o desenvolvimento de dispositivos que ampliem o nível de sustentabilidade das atividades econômicas. Em 2025, o Brasil atualizou a sua NDC, reformulando as suas metas de redução das emissões.

Para implementar a NDC, o Brasil se baseará no seu processo nacional de atualização do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima), que está alinhado ao "Pacto pela Transformação Ecológica entre os Três Poderes do Estado brasileiro". O Plano Clima tem o papel central na coordenação de políticas e medidas de mitigação e adaptação, ao sistematizar os caminhos para alcançar o compromisso brasileiro junto à UNFCCC e o Acordo de Paris (MMA, 2025b).

Definido pelo Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), a mais alta instância de governança climática brasileira, o novo Plano Clima inclui a "Estratégia Nacional de Adaptação", com dezesseis planos setoriais de adaptação. Essa parte do Plano Clima indica as diretrizes para o desenho e implementação de ações de adaptação nos níveis federal, estadual e municipal. Dentre as diretrizes, estão a (i) promoção do desenvolvimento sustentável nas suas múltiplas dimensões, considerando a redução de desigualdades e a transição justa; (ii) promoção da justiça climática com base em suas dimensões de gênero, raça, etnia, idade, classe social e demais fatores que influenciam a vulnerabilidade; (iii) promoção da proteção, conservação e preservação ambiental; (iv) governança multinível e transversal, considerando a complementaridade entre estratégias e especificidades territoriais; (v) promoção da transparência e dos processos participativos com a sociedade; (vi) integração da adaptação em políticas, programas e projetos que possam ser afetados pela mudança do clima.

Dentro da estratégia de adaptação estão em elaboração dezesseis planos setoriais e temáticos de adaptação: (i) agricultura e pecuária; (ii) agricultura familiar; (iii) biodiversidade; (iv) cidades; (v) gestão de riscos e desastres; (vi) indústria; (vii) energia; (viii) transportes; (ix) igualdade racial e combate ao racismo; (x) povos e comunidades tradicionais; (xi) povos indígenas; (xii) recursos hídricos; (xiii) saúde; (xiv) segurança alimentar e nutricional; (xv) oceano e zona costeira; e (xvi) turismo.

Já a "Estratégia Nacional de Mitigação" tem como objetivo promover e monitorar políticas e ações setoriais e transversais que garantam o alcance das metas de mitigação e acelerem a transição para uma economia com emissões líquidas zero até 2050, estimulando a inovação, competitividade, geração de empregos e renda, equidade social e ambiental e integridade dos ecossistemas naturais. Essa estratégia possui sete planos setoriais de mitigação, específicos para os seguintes setores econômicos: uso da terra e florestas, agropecuário, energia, transportes, cidades e mobilidade urbana, resíduos e indústria.

Especificamente para o setor de energia, o Brasil tem o objetivo de ampliar a geração de energia elétrica com aumento da participação de fontes de baixo carbono, aumentar o uso de biocombustíveis avançados, ampliar o acesso à energia, expandir a produção de biocombustíveis associada à captura e armazenamento de carbono, ampliar as ações de eficiência energética, estimular o desenvolvimento de mercados para hidrogênio de baixa emissão de carbono e apoiar tecnologias avançadas para a remoção de CO₂ da atmosfera.

O país já possui políticas importantes para a mitigação de emissões por meio da promoção do uso eficiente de energia e aumento do uso de energia elétrica e combustíveis de fontes renováveis, como, o Plano Nacional de Transição Energética, o Programa Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), o Programa Combustível do Futuro, o Programa Nacional de Hidrogênio e o Programa Mobilidade VerdeMover.

O Brasil também definiu a "Estratégia Transversal", contemplando os seguintes temas: (i) Transição Justa; (ii) Impactos Socioambientais; (iii) Meios de Implementação; (iv) Educação, Capacitação, Pesquisa, Desenvolvimento e Capacidade de Inovação; e (v) Monitoramento, Gestão, Avaliação e Transparência.

Cabe destacar que o país desenvolve um conjunto de políticas focadas na sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas, dentre elas, a implementação do Fundo Clima, os Títulos Soberanos Sustentáveis, Nova Indústria Brasil (NIB) e o Plano de Transformação Ecológica (PTE).

O planejamento contido na NDC do Brasil indica os compromissos consolidados para incentivar um desenvolvimento sustentável. Além disso, as metas para os setores econômicos apontam as ações necessárias ao processo de descarbonização. Esse conjunto de políticas direciona o país no processo gradativo de descarbonização, servindo de base para as discussões na COP30.

4 COP30 em Belém: desafios e oportunidades

A COP30, a ser realizada em Belém em 2025, se apresenta como um momento crucial para o Brasil e para o mundo no combate às mudanças climáticas. No entanto, os resultados da COP29 delineiam um cenário complexo, com desafios e oportunidades que moldarão as discussões e as expectativas para a próxima conferência.

Os principais desafios para essa COP30 são os seguintes:

- Implementação do Acordo de Paris: A implementação efetiva dos compromissos assumidos no Acordo de Paris continua sendo um desafio global. A COP30 deverá apresentar mecanismos mais robustos para monitorar e avaliar o progresso das Partes, além de incentivar a ambição em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs);
- Implementação do Acordo de Paris: A COP29 evidenciou a necessidade urgente de implementar as medidas estabelecidas no Acordo de Paris. A COP30 precisará apresentar avanços concretos nesse sentido, especialmente no que diz respeito à ambição das metas nacionais e à mobilização de recursos financeiros;
- Lacuna de financiamento: A insuficiência do financiamento climático, um dos principais pontos de discórdia na COP29, continua sendo um desafio crítico. A COP30 precisará encontrar soluções inovadoras para mobilizar os recursos necessários para auxiliar os países em desenvolvimento a enfrentar os impactos das mudanças climáticas;
- Perdas e danos: A questão das perdas e danos, relacionada aos impactos irreversíveis das mudanças climáticas, ganhou ainda mais destaque na COP29. A COP30 precisará avançar nas discussões sobre um mecanismo financeiro específico para lidar com essa questão, que é de grande importância para os países mais vulneráveis;
- Transição justa: A transição para uma economia de baixo carbono precisa ser justa e inclusiva, garantindo que os trabalhadores e as comunidades afetadas sejam protegidos. A COP30 precisará abordar essa questão, buscando soluções que conciliem a descarbonização com o desenvolvimento econômico-social. Garantir a participação efetiva da sociedade civil, dos povos indígenas e das comunidades locais nas negociações é fundamental para construir soluções justas e equitativas (UNFCCC, 2025);
- Adaptação: A adaptação aos impactos das mudanças climáticas é uma prioridade crescente. A COP30 precisará fortalecer os mecanismos de apoio à adaptação, especialmente para os países em desenvolvimento;
- Quanto às oportunidades, as mais destacadas para essa conferência são apontadas a seguir:
- Liderança brasileira: A COP30 representa uma oportunidade única para o Brasil demonstrar sua liderança global na agenda climática e fortalecer sua posição como potência ambiental. O país, que tem 50% de sua matriz energética e 90% da matriz elétrica provenientes de energia renovável, se destaca como o segundo maior produtor de biocombustíveis do mundo. Essa expertise coloca o Brasil em uma posição privilegiada para contribuir para o alcance das

metas do Acordo de Paris e para a construção de um futuro mais sustentável. A COP30 será uma oportunidade para o país compartilhar suas experiências e conhecimentos, mobilizar recursos e fortalecer parcerias internacionais para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono;

- Destaque para a Amazônia: A realização da COP30 em Belém permite colocar em destaque a importância da Amazônia para o clima global e a necessidade de proteger e restaurar esse bioma;
- Inovação e soluções baseadas na natureza: A COP30 pode ser um espaço para apresentar e discutir soluções inovadoras para o combate às mudanças climáticas, como as soluções baseadas na natureza e as tecnologias renováveis;
- Cooperação Sul-Sul: A COP30 pode fortalecer a cooperação entre os países em desenvolvimento no enfrentamento das mudanças climáticas, compartilhando experiências e conhecimentos;
- Mobilização da sociedade civil: A COP30 pode ser uma oportunidade para mobilizar a sociedade civil e aumentar a conscientização sobre as mudanças climáticas, incentivando a participação de todos os setores da sociedade nas ações de mitigação e adaptação.

A COP30 em Belém se apresenta como um momento fundamental para acelerar a ação climática global. No entanto, para alcançar esse objetivo, será necessário superar os desafios deixados pela COP29 e aproveitar as oportunidades que a conferência oferece. A chave para o sucesso da COP30 está na capacidade de construir consensos, promover a colaboração entre os países e mobilizar os recursos necessários para enfrentar a crise climática.

5 Conclusões

O Brasil é uma das maiores economias do mundo e uma das nações com um dos maiores potenciais energéticos, devido à variedade de recursos naturais existentes em seu território, o que garante a diversificação de sua matriz de energia. Destaque para a sua matriz elétrica e de consumo final com baixa emissão de carbono, devido à inserção majoritária de fontes renováveis. Esse estoque de recursos naturais garante ao país uma liderança proeminente em fóruns sobre a mudança climática e mitigação de seus efeitos, além de destaque na definição de agendas globais para a sustentabilidade, segurança do abastecimento e biodiversidade.

Um dos maiores fóruns de articulação e consenso sobre ações acerca do clima é a COP, a cúpula que é o órgão supremo do UNFCCC. Ao longo dessas reuniões são avaliados os esforços globais para avançar no objetivo principal do Acordo de Paris, consolidado em 2015, de limitar o aquecimento global o mais próximo possível de 1,5° C acima dos níveis pré-industriais.

A cúpula é estratégica para decisões sobre as formas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e sobre a adaptação aos impactos das mudanças climáticas, financiamento para países vulneráveis atingidos pelas mudanças climáticas, segurança energética e meios para apoiar os países a tornarem suas economias mais sustentáveis.

Na COP 30, o Brasil abordará as principais discussões sobre a transição para uma matriz de baixo carbono, destacando a importância da segurança do abastecimento ao longo da transformação, o que demonstra a participação do petróleo e do gás neste processo de ampliação dos investimentos em renováveis.

Em face do protagonismo e liderança do Brasil nas negociações sobre a diplomacia da mudança climática, desenvolvimento sustentável e redução de desigualdades, o país busca direcionar as discussões a serem aprofundadas ao longo das várias reuniões que compõem a agenda da COP 30. Desse modo, foram estabelecidos os seguintes temas prioritários para a conferência:

1. Redução de emissões de gases de efeito estufa;
2. Adaptação às mudanças climáticas;
3. Financiamento climático para países em desenvolvimento;
4. Tecnologias de energia renovável e soluções de baixo carbono;
5. Preservação de florestas e biodiversidade;
6. Justiça climática e os impactos sociais das mudanças climáticas.

Um dos temas de maior relevância é a garantia do acesso à energia e o financiamento da transição energética justa, progressiva e equitativa. O que torna esses assuntos importantes é o fato de os países emergentes não terem condições financeiras para transformar as suas matrizes energéticas, mantendo o custo da energia baixo e, consequentemente, a sua acessibilidade.

Diante desse cenário, a cúpula da COP30 é estratégica para a definição de diretrizes para a mitigação das mudanças climáticas, aprimoramento dos dispositivos para financiamento das novas tecnologias de descarbonização, bem como garantias da segurança energética ao longo do processo de transição energética.

Referências

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Process and meetings – What is the United Nations Framework Convention on Climate Change?. UNFCCC, 2024a. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>.

_____. (UNFCCC). UN Climate Change Conference Baku - November 2024 COP29. UNFCCC, 2024b. Disponível em: <https://unfccc.int/cop29/about-cop29>.

_____. (UNFCCC). Conference of the Parties - Report of the Conference of the Parties on its twenty-ninth session, held in Baku from 11 to 24 November 2024. UNFCCC, 2024c. Disponível em: <https://unfccc.int/decisions>.

_____. (UNFCCC). COP30 Brasil 2025. UNFCCC, 2025. Disponível em: <https://cop30.br/pt-br>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA CLIMÁTICA (MMA). Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) 2035 – A NDC do Brasil: Determinação nacional em contribuir e transformar. MMA, 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/ndc-versao-em-portugues.pdf/>.

_____. (MMA). Plano Clima. MMA, 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/com-posicao/smc/plano-clima>.



O
R

Introduction

High-power Laser Tool

- Power: 700 W and 100 W (20)
- Wavelength: 1064 nm
- Efficiency: 10%
- Medium: Supplied with air-cooled water

Section 1: Introduction

Section 2: High-power Laser Tool

Section 3: High-power Laser Tool

Section 4: High-power Laser Tool

Section 5: High-power Laser Tool

Section 6: High-power Laser Tool

Section 7: High-power Laser Tool

Section 8: High-power Laser Tool

Section 9: High-power Laser Tool

Section 10: High-power Laser Tool

Section 11: High-power Laser Tool

Section 12: High-power Laser Tool

Section 13: High-power Laser Tool

Section 14: High-power Laser Tool

Section 15: High-power Laser Tool

Section 16: High-power Laser Tool

Section 17: High-power Laser Tool

Section 18: High-power Laser Tool

Section 19: High-power Laser Tool

Section 20: High-power Laser Tool

Section 21: High-power Laser Tool

Section 22: High-power Laser Tool

Section 23: High-power Laser Tool

Section 24: High-power Laser Tool

Section 25: High-power Laser Tool

Section 26: High-power Laser Tool

Section 27: High-power Laser Tool

Section 28: High-power Laser Tool

Section 29: High-power Laser Tool

Section 30: High-power Laser Tool

Section 31: High-power Laser Tool

Section 32: High-power Laser Tool

Section 33: High-power Laser Tool

Section 34: High-power Laser Tool

Section 35: High-power Laser Tool

Section 36: High-power Laser Tool

Section 37: High-power Laser Tool

Section 38: High-power Laser Tool

Section 39: High-power Laser Tool

Section 40: High-power Laser Tool

Section 41: High-power Laser Tool

Section 42: High-power Laser Tool

Section 43: High-power Laser Tool

Section 44: High-power Laser Tool

Section 45: High-power Laser Tool

Section 46: High-power Laser Tool

Section 47: High-power Laser Tool

Section 48: High-power Laser Tool

Section 49: High-power Laser Tool

Section 50: High-power Laser Tool

Section 51: High-power Laser Tool

Section 52: High-power Laser Tool

Section 53: High-power Laser Tool

Section 54: High-power Laser Tool

Section 55: High-power Laser Tool

Section 56: High-power Laser Tool

Section 57: High-power Laser Tool

Section 58: High-power Laser Tool

Section 59: High-power Laser Tool

Section 60: High-power Laser Tool

Section 61: High-power Laser Tool

Section 62: High-power Laser Tool

Section 63: High-power Laser Tool

Section 64: High-power Laser Tool

Section 65: High-power Laser Tool

Section 66: High-power Laser Tool

Section 67: High-power Laser Tool

Section 68: High-power Laser Tool

Section 69: High-power Laser Tool

Section 70: High-power Laser Tool

Section 71: High-power Laser Tool

Section 72: High-power Laser Tool

Section 73: High-power Laser Tool

Section 74: High-power Laser Tool

Section 75: High-power Laser Tool

Section 76: High-power Laser Tool

Section 77: High-power Laser Tool

Section 78: High-power Laser Tool

Section 79: High-power Laser Tool

Section 80: High-power Laser Tool

Section 81: High-power Laser Tool

Section 82: High-power Laser Tool

Section 83: High-power Laser Tool

Section 84: High-power Laser Tool

Section 85: High-power Laser Tool

Section 86: High-power Laser Tool

Section 87: High-power Laser Tool

Section 88: High-power Laser Tool

Section 89: High-power Laser Tool

Section 90: High-power Laser Tool

Section 91: High-power Laser Tool

Section 92: High-power Laser Tool

Section 93: High-power Laser Tool

Section 94: High-power Laser Tool

Section 95: High-power Laser Tool

Section 96: High-power Laser Tool

Section 97: High-power Laser Tool

Section 98: High-power Laser Tool

Section 99: High-power Laser Tool

Section 100: High-power Laser Tool

3
SESSÃO
POSTER
POSTER
SESSION



4
SESSÃO
POSTER
POSTER
SESSION



Expediente

**Presidência/CEO do IBP**

Roberto Furian Ardenghy

Diretora Executiva

Claudia Rabello

Gerência de Gestão do Conhecimento e Comissões

Lisandro Gaertner

Editora Chefe

Eduarda Tamate

Editor Adjunto

Alberto Monteiro

Apoio Editorial

Giovanna Candido

Gerência de Análises Técnicas do Setor de Óleo e Gás

Aldren Vernersbach

Isabella Costa

Leonardo Lima

Juliana Barretto

Vinícius Daudt

Comite Jovem

Marcello Paixão

Otto Gabriel

Thais Cantadori

Autores (Congresso ROG.e)

Afonso Gonçalves Castro Junior

Cristiano Henrique Gonçalves de Brito

Edson Rafael Torres

Franco Leonardi

Igor Zornitta Zanella

Lucas Silveira Antoun Netto

Marilda Rosado de Sá Ribeiro

Rodrigo Chamusca Machado

Rodrigo Jesus Neves de Paiva Navarro

Sami Massalami Mohammed Elmassalami Ayad

Projeto gráfico e diagramação

Luis Felipe Costa

IBP^{NA} COP-30

