

PROGRAMA DE
**TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA**

1º CICLO
DIAGNÓSTICO

**Tendências e Incertezas
da Transição Energética
no caso brasileiro**

FICHA TÉCNICA

Autores

Andre Bello

Breno Lyro

Gabriel Paiva

Gabriela Gonzalez

Gregório Araújo

Humberto Lima

Luciana Sampaio

Pedro Guimarães

Rafaela Guedes

Thiago Moraes

Yuri Telles

Coordenação editorial

Julia Dias Leite

Diretora-Presidente do CEBRI

Luciana Gama Muniz

Diretora de Projetos do CEBRI

Giovani Machado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais da EPE

Gustavo Naciff

Superintendente Adjunto da EPE

Apoio editorial

Léa Reichert

Coordenadora de Projetos do CEBRI

Gustavo Berlie

Analista de Projetos do CEBRI

Design gráfico

Presto Design

Aviso: Este relatório reflete a opinião dos debatedores dos eventos da primeira fase do Programa de Transição Energética e não necessariamente a visão das instituições que participam do Programa.

Esta obra está licenciada de acordo com o termo de cooperação técnica previsto para o Programa de Transição Energética (ATN/OC-17965-BR).

CEBRI

NÚCLEO ENERGIA

O Núcleo trata do futuro da energia, das tendências energéticas globais e busca soluções para a criação de um ambiente de investimentos competitivo e atrativo para o Brasil.



Jorge Camargo

Vice-Presidente do Conselho Curador do CEBRI



Rafaela Guedes

Senior Fellow do CEBRI



Gregório Araújo

Pesquisador Sênior

CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS
Rua Marquês de São Vicente, 336 – Gávea
Rio de Janeiro / RJ - CEP: 22451-044
Tel + 55 21 2206-4400 - cebri@cebri.org.br
www.cebri.org



PROGRAMA DE
**TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA**

1º CICLO
DIAGNÓSTICO

Tendências e Incertezas da Transição Energética no caso brasileiro

Patrocínio:



Apoio:

SOBRE O CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS, CEBRI

Independente, apartidário e multidisciplinar, o Centro Brasileiro de Relações Internacionais é pautado pela excelência, ética e transparência na formulação e disseminação de conteúdo de alta qualidade sobre o cenário internacional e o papel do Brasil. Engajando os setores público e privado, a academia e a sociedade civil em um debate plural, o CEBRI influencia a construção da agenda internacional do país e subsidia a formulação de políticas públicas, gerando ações de impacto e visão prospectiva.

Ao longo de vinte e dois anos de história, já realizou mais de 500 eventos, produziu mais de 200 publicações e atua com uma rede internacional de mais de 100 entidades de alto nível em todos os continentes. A instituição se destaca por seu acervo intelectual, pela capacidade de congregar múltiplas visões de renomados especialistas e pela envergadura de seu Conselho Curador.

Conectado à agenda internacional, o CEBRI identifica e analisa as mais relevantes questões internacionais, promovendo o engajamento entre a produção de conhecimento e a ação política. Atua como a contraparte de instituições estratégicas globais, como o Council on Foreign Relations, nos EUA, a Chatham House, no Reino Unido, além de diversos outros Conselhos de Relações Internacionais no cenário global.

O reconhecimento de sua importância internacional é atestado ainda pela pesquisa Global Go to Think Tanks, conduzida pela Universidade da Pensilvânia, segundo a qual é considerado um dos think tanks mais relevantes do mundo.



SOBRE O BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO, BID

O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) é uma instituição financeira internacional fundada em 1959 e composta por 48 países membros. Tem como objetivo financiar projetos de desenvolvimento econômico na região da América Latina e Caribe, prestando também assistência técnica a governos e instituições privadas. Suas principais iniciativas se encontram na área de redução da pobreza e da desigualdade, integração regional e comercial, competitividade, produtividade e inovação, e eficiência do gasto público.



SOBRE A EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elabora estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis no âmbito do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Ministério de Minas e Energia (MME). A EPE elabora, entre outros, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), o Plano Nacional de Energia (PNE), o Balanço Energético Nacional (BEN) e o Programa de Expansão da Transmissão (PET).



SOBRE O PROGRAMA BID-CEBRI-EPE DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, PTE

Governos de diversos países vêm anunciando metas de neutralidade de carbono para as próximas décadas a fim de conter os avanços da mudança climática. No Brasil, as discussões estão em evolução, com alguns fatores importantes distinguindo o país dos demais: como a dinâmica das emissões, o grande impacto das queimadas, o fato de o país já possuir uma das matrizes de energia mais renováveis do mundo industrializado e o consumo de energia *per capita* ainda ser baixo quando comparado a países que já se desenvolveram.

A fim de contribuir para esse debate no Brasil de forma independente e aberta, o CEBRI, em parceria com o BID e a EPE, estabeleceram o Programa BID-CEBRI-EPE de Transição Energética (PTE).

O programa busca um diagnóstico das principais tendências e incertezas críticas e a construção de cenários de longo prazo (2050) para o setor de energia no Brasil, contribuindo para informar e auxiliar formuladores de políticas públicas.

Agradecimentos

O Programa BID-CEBRI-EPE de Transição Energética promoveu, entre os meses de abril e junho de 2021, uma série de eventos virtuais com debates com especialistas e partes interessadas. Os debates foram fundamentais para embasar a visão que estamos construindo, de forma colaborativa, com instituições acadêmicas, entidades do setor de energia e indústria, e contou com a distinta participação dos painelistas:

- Carla Primavera (BNDES)
- Carlos Pascual (IHS)
- Carmen Araújo (ICCT)
- Clarissa Lins (CEBRI e Catavento)
- Claudia Sender (Embraer e Gerdau)
- Cristiano Façanha (CALSTART)
- Cristina Pinho (IBP)
- Daniel Lopes (Hytron)
- Evandro Gussi (UNICA)
- Gregório Araújo (CEBRI e Petrobras)
- Ilan Cuperstein (C40)
- Joaquim Levy (Banco Safra)
- Jorge Camargo (CEBRI)
- José Luiz Alquéres (CEBRI)
- José Pio Borges (CEBRI)
- Luiz Barroso (PSR)
- Luiz Horta (UNIFEI)
- Marcel Martin (iCS)
- Mechthild Wörsdörfer (AIE)
- Morgan Doyle (BID)
- Rafaela Guedes (CEBRI e Petrobras)
- Roberto Bocca (Fórum Econômico Mundial)
- Roberto Schaeffer (COPPE/UFRJ)
- Solange Ribeiro (Neoenergia)
- Thiago Barral (EPE)

ÍNDICE

8	Introdução
10	Contextualização
13	A Realidade Brasileira
15	Caminhos para Transição (O Lado da Oferta)
15	Eletricidade
18	O Papel da Bionergia e da Indústria de Óleo e Gás na Transição Energética
22	A Transformação no Consumo de Energia (O Lado da Demanda)
22	O Desafio das Cidades: Demandas Crescentes e Sustentabilidade
23	Setor de Transporte
25	Setor de Edificações e Residências
26	Alternativas para os Segmentos de Difícil Descarbonização
28	Considerações Finais
31	Tendências e Incertezas
31	Tendências
32	Incertezas
33	Próximos passos

Introdução

Por décadas, um processo gradual e contínuo de compreensão das consequências da mudança climática, em conjunto com o desenvolvimento de tecnologias que viabilizam a produção de energia de maneira sustentável, economicamente acessível e segura, vinha impulsionando movimentos populares a exigir ações para a substituição do uso dos combustíveis fósseis por fontes energéticas menos intensivas em carbono, caracterizando a transição energética (TE) em curso.

À essa pressão social, se somavam as disputas geopolíticas no cenário global. A geopolítica energética ganhou novos contornos, com a descarbonização passando a constituir um elemento central da agenda diplomática. Os conflitos que tradicionalmente estavam associados ao acesso a reservas de óleo e gás, começaram a migrar para temáticas relacionadas à liderança tecnológica e de mercados, destacando países como a China, EUA e União Europeia como principais direcionadores desse movimento.

A China, com acesso a matérias primas essenciais e liderança nas tecnologias e nos investimentos em energia limpa, passou a definir a TE como uma questão de segurança nacional em seus planos quinquenais. Os EUA, sob a administração de Joe Biden, apontaram a necessidade de garantir o acesso à cadeia de suprimentos das novas fontes de energia e armazenamento.

Já a Europa, que foi o primeiro continente a anunciar uma meta de neutralidade de carbono até 2050, aprofunda suas ações impulsionada pela pandemia de Covid-19, divulgando muito mais que um plano de descarbonização, mas também um plano de recuperação econômica, calcado nos investimentos para o desenvolvimento da infraestrutura verde.

Chamado de “European Green Deal”, a medida prevê investimentos de cerca de um terço dos 1,8 trilhões de euros do Plano de Recuperação *NextGenerationEU* e do orçamento de sete anos da União Europeia para financiar, entre outros, a renovação de 35 milhões edifícios até 2030 e a criação de 160 mil empregos verdes adicionais no setor de construção até 2030¹. Além disso, ao fim de 2020, a meta anterior de queda de pelo menos 40% das emissões dos gases de efeito estufa até 2030 (quando com-

1. European Commission, em https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

parados aos níveis de 1990), é elevada para 55%. Um grande desafio, uma vez que em 2019 as emissões totais na União Europeia eram 25% abaixo do patamar de 1990.

Os planos de recuperação econômica com iniciativas que incorporam setores associados à transição energética podem permitir uma reaceleração no ritmo da transição energética no médio e longo prazo. Isso porque, embora sejam claros os custos humanos e econômicos de curto prazo - a paralisação de investimentos em projetos de energia, o aumento da pobreza e a queda do PIB mundial - e seus impactos sobre a demanda global de energia em 2020, ainda não há um consenso sobre quais os comportamentos e hábitos dos produtores e consumidores trazidos pela Covid-19 irão se consolidar em nossa sociedade. O impacto global da pandemia no ritmo da transição energética continua incerto.

O impacto global da pandemia no ritmo da transição energética continua incerto

A fim de avaliar o *status quo* e as potencialidades da TE especificamente no Brasil e contribuir na formulação de políticas públicas para a matriz energética brasileira de 2050, o Programa BID-CEBRI-EPE de Transição Energética foi constituído em três fases: diagnóstico, convergência e desenvolvimento de cenários.

A **fase de diagnóstico**, ocorrida no 1º semestre de 2021, teve como objetivo o mapeamento das principais tendências e incertezas críticas através de uma série de eventos virtuais, em debates com especialistas, público e partes interessadas, buscando elementos que respondessem a três questões-chaves:

1.

Quais os efeitos estruturais que a pandemia pode provocar sobre o setor energético global e quais os seus desdobramentos para o Brasil?

2.

Que tecnologias e fontes de energia fazem mais sentido para o Brasil na busca pelo atendimento aos acordos climáticos?

3.

Quais alternativas de transição energética trazem maiores benefícios para o Brasil? Qual a contribuição de cada um dos segmentos para esse processo?

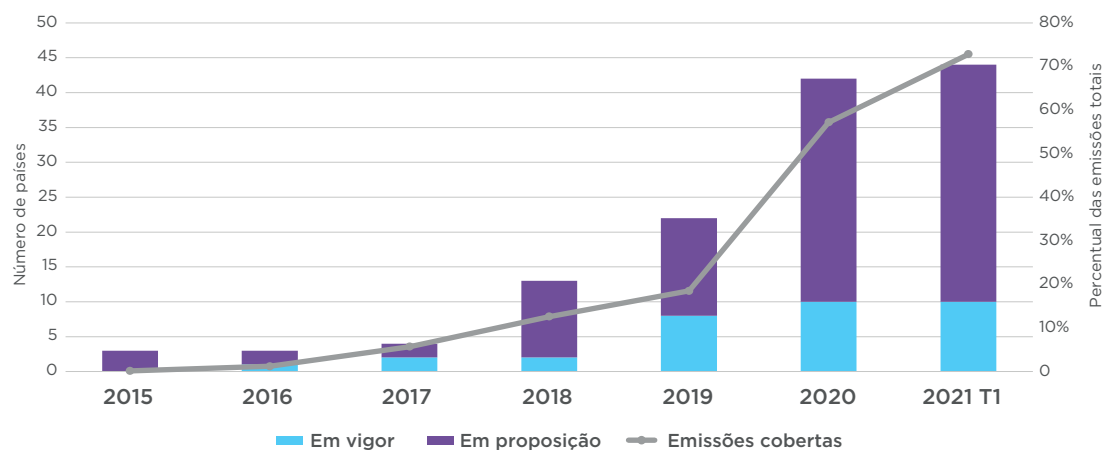
A **fase de convergência** se iniciou no 2º semestre de 2021 buscando consolidar uma visão de futuro para as principais variáveis explicativas identificadas na fase anterior. E por último, a **fase de desenvolvimento de cenários**, onde serão modelados os cenários de futuro com base na metodologia adotada pelo grupo Cenergia/PPE/COPPE/UFRJ.

Os principais pontos da fase de diagnóstico serão apresentados nos capítulos a seguir.

Dentre as economias emergentes, o nível de gastos observados no Brasil chamou atenção (gráfico anterior), uma vez que em termos relativos ao PIB, ficou bem acima do que se verificou nas economias do Leste Europeu, Ásia, África e da própria América Latina. Os recursos privilegiaram as transferências de renda às famílias mais vulneráveis, via auxílio emergencial, e tiveram resultados importantes em reduzir a queda da renda. O resultado, na comparação internacional, também se mostrou superior a de diversos países desenvolvidos, restringindo a queda do PIB à 4,1%, enquanto Espanha, Itália e Reino Unido, registraram, respectivamente, quedas no PIB de -10,9%, -8,9% e -9,9%. Nos EUA, a contração do PIB foi ligeiramente menor do que a brasileira, de -3,5%

Outro ponto que se destaca nos planos de recuperação divulgados globalmente, foram os estímulos aos investimentos que visam o desenvolvimento da chamada “economia verde” ou “economia de baixo carbono”. Em meio à crise econômica e sanitária, a pressão social por respostas à crise climática continuou crescendo. Como resultado, em 2020, intensificando um movimento que ganha corpo desde o Acordo de Paris, o número de países que declararam compromissos para reduzir a zero suas emissões líquidas até meados do século se multiplicou (gráfico a seguir).

GRÁFICO 2. COMPROMISSOS NET ZERO ANUNCIADOS POR PAÍSES



Fonte: IEA, 2021. Todos os direitos reservados.³

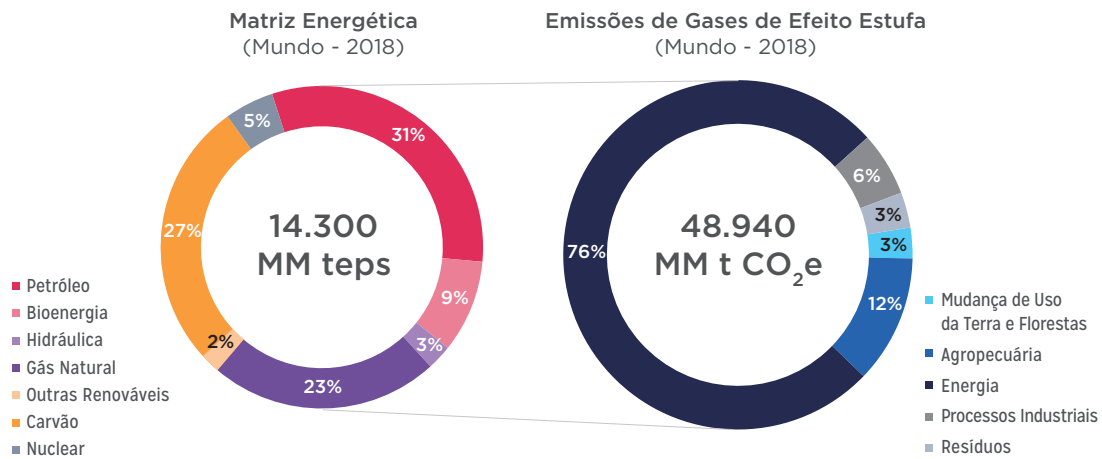
Os diversos anúncios de *net zero* foram bem recebidos pela comunidade internacional, mas ainda assim, a trajetória preocupa. De acordo com a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA), apesar das emissões de CO₂ terem recuado 6% em 2020, as estimativas para 2021 - impulsionadas pela demanda reprimida - são de forte crescimento, indicando o que seria a segunda maior elevação nos últimos 30 anos. Isso porque essas mudanças são movimentos longos, nos quais as infraestruturas energética e produtiva global dificilmente são alteradas por rupturas de curto prazo, mas sim por meio de adaptações gradativas, oriundas de processos evolucionários e concorrenciais, muitas vezes sujeitos a *lock-in* tecnológicos.

Em sua publicação *Net Zero by 2050*, a IEA alerta que, sendo o setor de energia o maior emissor mundial de carbono, correspondendo por cerca de 3/4 das emissões globais, não há como reduzir as emissões globais sem uma mudança significativa

3. IEA. *Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector*. 2021. Todos os direitos reservados.

do nível de emissões do setor energético. Assim, o novo desafio posto, passa a ser o de conciliar a dinâmica da recuperação econômica global com a construção de um sistema energético mais limpo e sustentável em um prazo factível para as metas traçadas no Acordo de Paris.

GRÁFICO 3. MATRIZ ENERGÉTICA X EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO MUNDO³



Fonte: IEA, 2021. Todos os direitos reservados.⁴

Comparando com a transição do uso da lenha e do carvão para o uso de petróleo e gás natural, a mudança pode não ocorrer na velocidade necessária, uma vez que ainda hoje o carvão representa expressivos 27% da matriz global de energia (gráfico anterior). Somado ao petróleo e gás, os fósseis correspondem por 81% da matriz energética mundial.

Para auxiliar nesse desafio, a IEA se propôs a atuar como catalisadora da transição energética global, destacando a urgência em transformar os anúncios e ambições em ações concretas. A Agência observa que para isso, é necessário tornar a transição resiliente à crises, orientando as ações e políticas por meio de direcionadores que visem: i) a inclusão, redução de desigualdades e, conseqüentemente, a mitigação de resistências ao processo; ii) a busca de uma visão integrada, abrangendo demandantes e ofertantes de energia de forma complementar, com políticas direcionadas aos dois lados e iii) garantir o financiamento necessário à reestruturação produtiva do sistema industrial-energético.

O novo desafio posto passa a ser como conciliar a dinâmica da recuperação econômica global com a construção de um sistema energético mais limpo e sustentável em um prazo factível para as metas traçadas no Acordo de Paris

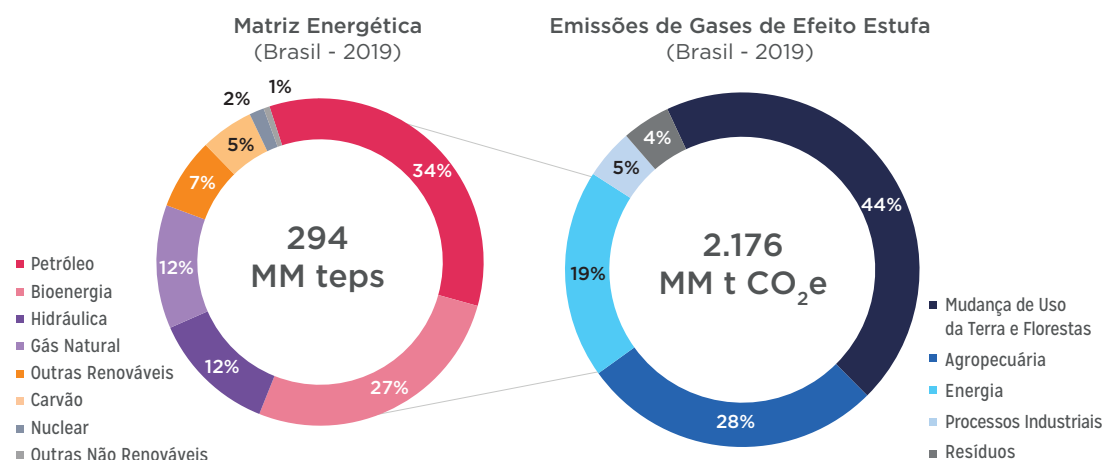
4. IEA. Climate Watch. 2021. Todos os direitos reservados.

A Realidade Brasileira

Brasil é considerado um país de baixa intensidade de emissões de gases de efeito estufa por habitante. Em 2020, cada brasileiro emitiu, em média, 1,9 tCO₂e. Isso representa cerca de 1/7 das emissões de um norte-americano e 1/3 de um cidadão europeu ou de um chinês (BEN, 2021).

A particularidade do Brasil, é que a geração de GEE do país está fortemente relacionada ao uso da terra e agropecuária (que, juntas, representam 72% das emissões totais no país) e não à geração de energia. Enquanto no mundo, o setor energético é responsável por 76% das emissões de gases de efeito estufa (GEE), no Brasil a matriz energética corresponde a 19% das emissões de GEE do país (gráfico a seguir). Isso ocorre, pois 44% da matriz energética brasileira é oriunda de energias renováveis.

GRÁFICO 4. MATRIZ ENERGÉTICA X EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL



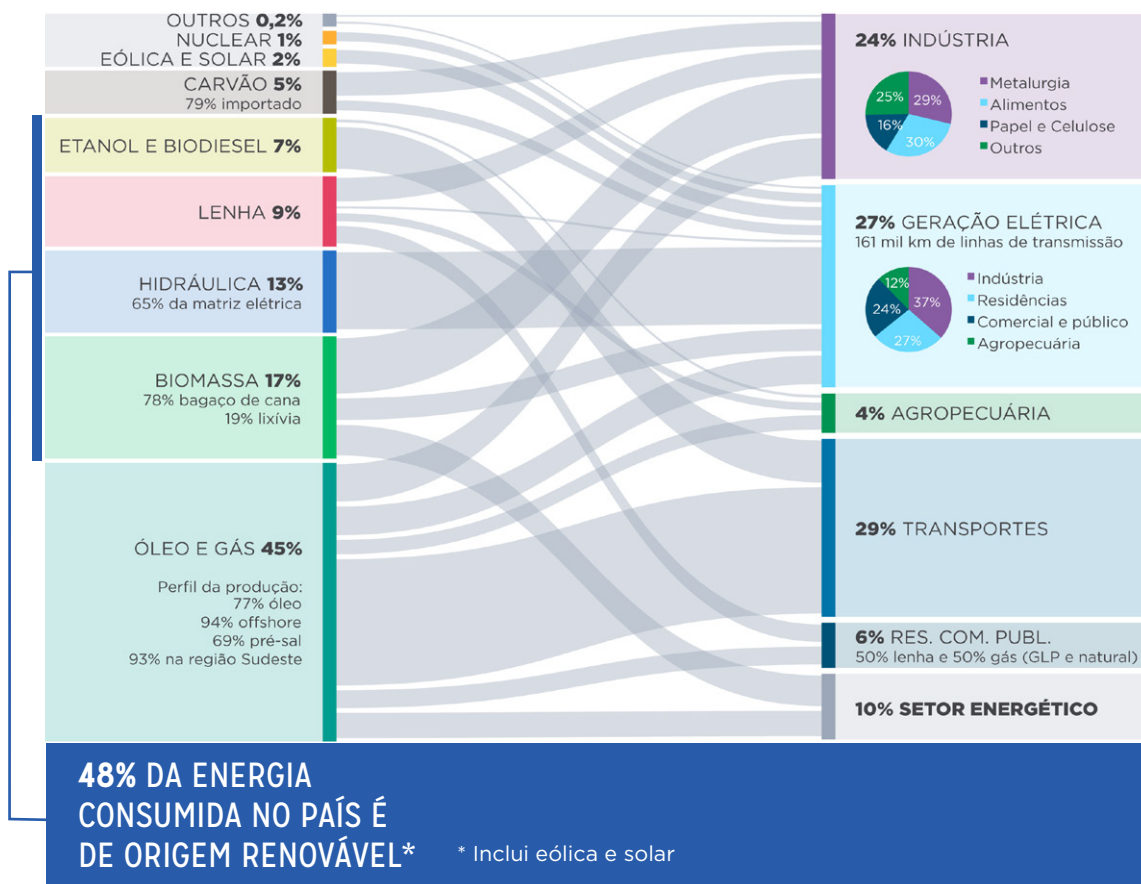
Fonte: Observatório do Clima, 2021⁵

5. Observatório do Clima. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). 2021

A particularidade do Brasil, é que a geração de GEE do país está fortemente relacionada ao uso da terra e agropecuária (que, juntas, representam 72% das emissões totais no país) e não à geração de energia

Ainda assim, explorando as oportunidades de redução de emissões na geração, os dados de consumo de energia dos setores de maior relevância econômica no Brasil por fonte (gráfico a seguir), mostram que é possível identificar vetores para uma estratégia de descarbonização da matriz energética tanto pela ótica da oferta quanto pela ótica do consumo de energia. Essas perspectivas serão apresentadas nos capítulos a seguir.

GRÁFICO 5. CONSUMO LÍQUIDO DE ENERGIA POR FONTE NO BRASIL (2019)



Fonte: Elaboração própria. Dados da ANP e do BEN (2021)

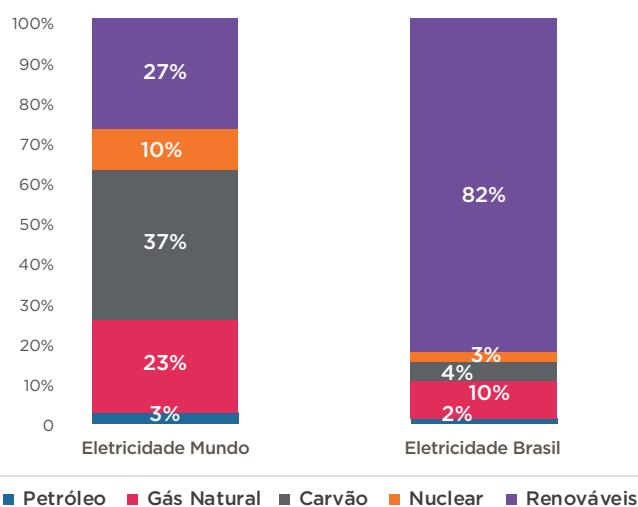
Caminhos para Transição (O Lado da Oferta)

Eletricidade

A geração de energia com fontes renováveis, associada a eletrificação do consumo, vem aparecendo como condição necessária para o atingimento das metas climáticas em diversas economias. O setor de geração de energia elétrica está no cerne do processo de transição energética principalmente porque o setor age como um meio de se obter a descarbonização dos segmentos de consumo.

No Brasil, a matriz elétrica está adaptada para permitir a descarbonização de outros setores, o que lhe garante algumas vantagens em uma economia de baixo carbono. Enquanto no mundo os países buscam a redução da geração por carvão, no Brasil, a condição de partida já é de uma matriz 82% renovável (gráfico a seguir).

GRÁFICO 6. MATRIZES ELÉTRICAS (2019)



Capacidade Total Mundo: 7.484 GW

Capacidade Total Brasil: 173 GW

Fonte: IEA, WEO 2020. Todos os direitos reservados.

Em um contexto de preocupação com medidas de ESG, melhores opções de financiamento, ampliação do mercado livre e o estabelecimento de uma cadeia local de equipamentos, as fontes eólica e solar tiveram uma expressiva redução de custo, tornando-se, no Brasil, economicamente competitivas com as demais fontes de energia

Tendo sido favorecido pela abundância recursos hídricos do país, e desenvolvido com base neles, o setor elétrico brasileiro é caracterizado em sua essência por apresentar usinas hidrelétricas de grandes capacidades com reservatórios de regularização plurianual, e longas linhas de transmissão interligando os subsistemas nacionais, constituindo-se em um sistema interligado de geração e transmissão de dimensão continental, coordenado de forma centralizada.

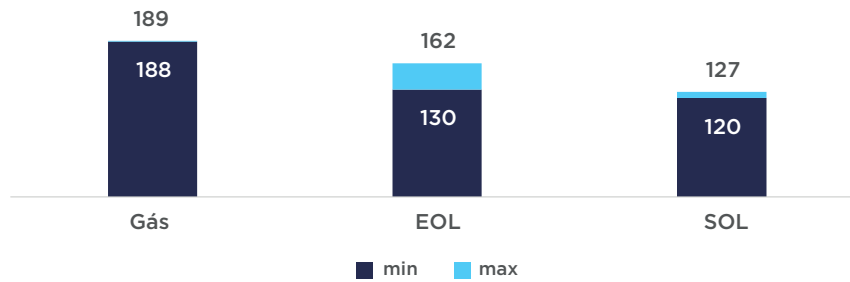
A partir do início do século XXI, com a diminuição ocasional dos níveis de água dos reservatórios, esse sistema começou a apresentar certa vulnerabilidade. Em função disso, o gás natural surgiu como fonte complementar, se firmando no papel de garantidor da segurança energética do país, e ganhando espaço em um contexto de restrição da expansão hidroelétrica e redução da capacidade de regularização dos reservatórios com a entrada em operação de usinas hidrelétricas que operam a fio d'água.

Nesse ambiente, a partir de 2011, iniciou-se uma expansão significativa das fontes eólica e solar no Brasil. Nesse mesmo ano, a eólica representava 0,5% da matriz elétrica do país, enquanto as hídricas 81%. Hoje, a eólica representa 9% e a hidráulica 65%. O mesmo ocorreu com a fonte solar, que partiu do zero em 2017 para representar quase 2% da matriz elétrica em 2020 (BEN, 2021).

As fontes eólica e solar estrearam na matriz energética via o Proinfra, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas, instituído em 2002, e se expandiram através da realização de leilões de contratação de longo prazo, dedicados exclusivamente para essas fontes. Nas demais modalidades de contratação, essas fontes contaram ainda com descontos nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, e têm sido estimuladas por PPAs (*Power Purchase Agreement* - contratos de compra de energia bilaterais) corporativos.

Em um contexto de preocupação com medidas de ESG (*Environmental, Social and Corporate Governance*), melhores opções de financiamento, ampliação do mercado livre e o estabelecimento de uma cadeia local de equipamentos, as fontes eólica e solar tiveram uma expressiva redução de custo, tornando-se, no Brasil, economicamente competitivas com as demais fontes de energia (gráfico a seguir).

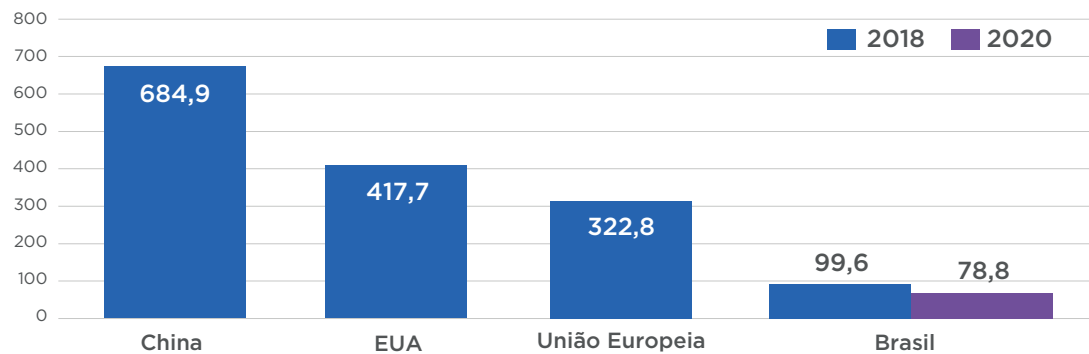
GRÁFICO 7. PREÇOS DE VENDA NO 30º LEN - A-6/2019 (R\$/MWh)



Fonte: CCEE, 2020⁶

A abundância de recursos renováveis para geração de energia no país confere ao setor elétrico brasileiro não apenas um nível de emissão de CO₂ por MWh mais baixo do que diversas economias do mundo (gráfico a seguir), mas também a possibilidade de eletrificar a economia e alavancar outros vetores energéticos ou até mesmo - por ter uma capacidade de oferta muito superior ao do crescimento da demanda⁷ - aproveitar a corrida tecnológica e climática de outros países para atrair investimentos e exportar eletricidade.

GRÁFICO 8. EMISSÕES DE CO₂ (Kg) POR MWh GERADO (2018)



Fonte: IEA, 2021. Todos os direitos reservados.

Uma dessas oportunidades está relacionada à exportação de hidrogênio, amônia, metanol ou *eletrofuels*, caso haja o avanço no país da tecnologia de produção e conversão do hidrogênio verde. Como o H₂ não emite GEE, ele pode ser usado tanto como combustível quanto solução de armazenamento, com vantagens em relação às baterias convencionais quando há necessidade de armazenamento de grandes quantidades de energia por um longo tempo.

As fontes renováveis representam oportunidades de investimento principalmente para a região Nordeste do país. Isso porque, embora todo território brasileiro possua um alto potencial para geração renovável, a região Nordeste ganha vantagem competitiva na geração eólica por apresentar ventos fortes, constantes e unidirecionais e, na geração solar, por apresentar os maiores índices de radiação média e as menores variações de incidência solar durante o ano no país. Hoje, considerando apenas os ativos em operação, 89% da potência eólica já instalada no Brasil está na região, bem como 74% da potência solar.

6. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

7. O PNE 2050, publicado pela EPE em 2020, estima um potencial energético de 280 bilhões de tep, acumulados no horizonte até 2050, o que supera largamente a demanda esperada para o mesmo período, de 15 bilhões de tep.

Produzindo acima de sua demanda, o Nordeste se favorece ainda com a possibilidade de geração de hidrogênio verde⁸ podendo se configurar como exportador de energia através de um HUB de Hidrogênio, ou com a ampliação da rede a transmissão de energia elétrica para a região Sudeste, que já está prevista de ser ampliada dos atuais 6 GW para mais de 12 GW em 2023.

Uma vez que o país tem limitações fiscais para fomentar sua transição energética através da oferta de subsídios, como observamos em países desenvolvidos, o grande desafio do Brasil será o de utilizar todo seu potencial em geração nas mais diversas fontes como alavanca de valor aproveitando o alinhamento entre competitividade econômica e interesses climáticos. A regulação e planejamento do setor devem avançar no sentido de garantir a correta sinalização de preços como estímulo aos investimentos, bem como facilitar e orientar a trajetória para a geração distribuída, a abertura do mercado e o desenvolvimento de diferentes soluções energéticas.

O Papel da Bionergia e da Indústria de Óleo e Gás na Transição Energética

Outra oportunidade para uma possível estratégia de descarbonização da matriz energética brasileira pela ótica da oferta passa pelas indústrias de óleo e gás (O&G) e bioenergia. Enquanto a indústria de bioenergia apresenta alto grau de maturidade no país, a indústria de O&G, com grande capacidade de investimento e desenvolvimento tecnológico - em comparação com outros setores - pode, na busca pela diversificação de seu portfólio, alocar capital relevante em energias renováveis e se tornar um importante ator no processo de transição energética brasileira.

Entre os efeitos positivos da participação da indústria de O&G na transição energética se somam sua experiência na realização de projetos em ambiente *offshore*, o que pode resultar em sinergias com a nascente indústria de geração de energia eólica *offshore*⁹ no país, e no desenvolvimento de tecnologias de CCUS (*Carbon, Capture, Utilization and Storage*). Além disso, o aproveitamento da infraestrutura estabelecida pela indústria de O&G, diminui o esforço de capital necessário para a introdução de novos energéticos.

Neste contexto, as refinarias podem se transformar para também processar a biomassa, e as malhas de dutos podem ser aproveitadas para transporte de biometano e, futuramente, de hidrogênio. As refinarias também podem desempenhar um importante papel no desenvolvimento da economia de baixo carbono ofertando hidrogênio azul¹⁰, que pode ser produzido pela reforma a vapor do gás natural (GN) com CCUS.

O aproveitamento da infraestrutura estabelecida pela indústria de O&G diminui o esforço de capital necessário para a introdução de novos energéticos

8. "Hidrogênio verde" refere-se ao hidrogênio obtido a partir de fontes renováveis.

9. Em seu estudo Roadmap Eólica Offshore Brasil, de 2020, a EPE destaca que o potencial técnico de geração no país chega a 700 GW.

10. "Hidrogênio azul" refere-se ao hidrogênio obtido a partir do gás natural.

Com a bioenergia, o Brasil vem, há décadas, se preparando para uma economia de baixo carbono no setor de transportes. No ciclo Otto, a gasolina brasileira (com 27% de etanol na sua composição) é uma das que menos emite GEE no mundo. Além do etanol anidro, o país também utiliza etanol hidratado em veículos *flex*. O sucesso no uso do etanol, em complemento à gasolina, possibilita o atendimento de cerca de 50% da demanda do ciclo Otto com biocombustíveis. A sinergia entre o setor petrolífero e o de biocombustíveis na produção de combustíveis requer pequenas alterações em motores, mas possibilita o crescente aumento da mistura de biocombustíveis nos combustíveis fósseis, favorecendo o compartilhamento dos sistemas de distribuição e o aproveitamento de toda infraestrutura já desenvolvida pela indústria de O&G, que é fortemente baseada em combustíveis líquidos.

A cooperação entre estas indústrias tem sido explorada com êxito no Brasil. Além do etanol de cana, que é reconhecido pelos mercados mais exigentes como um biocombustível avançado, isto é, com baixa pegada de carbono em sua cadeia de valor, o país conta também com uma crescente produção de etanol de milho. Investimentos em uma infraestrutura dutoviária permitem escoar até 6 bilhões de litros de etanol por ano das regiões produtoras para os grandes centros urbanos, tornando a opção por veículos híbridos interessante para o mercado nacional. A bioenergia também ocupa posição de destaque no ciclo Diesel, onde a mistura de biodiesel tem previsão de alcançar 15% no diesel em 2023. Esta condição faz com que o Brasil tenha uma agenda própria para a transição energética.

No ciclo Otto, a gasolina brasileira (com 27% de etanol na sua composição) é uma das que menos emite GEE no mundo

A implementação com sucesso do etanol de cana e do milho e do biodiesel de diversas fontes, mas predominantemente da soja, consolidou o setor de bioenergia no Brasil. Ainda assim, o país possui outros desafios como o desenvolvimento de uma nova geração de biocombustíveis capaz de atender a setores como o de aviação e de transporte marítimo internacional. O estudo Plano de Voo para os Biocombustíveis de Aviação no Brasil levantou a disponibilidade de matérias primas, rotas de refino, alternativas logísticas e os aspectos regulatórios para o desenvolvimento do *biojet* no país¹¹.

Neste contexto, cabe destacar o programa Combustível do Futuro, criado em 2021 pelo CNPE¹². O programa dentre outros objetivos busca criar as condições necessárias para a introdução do bioquerosene de aviação e de uma política integrada desse biocombustível com o diesel e nafta verde¹³. Estes combustíveis poderiam se beneficiar da cadeia de suprimentos já desenvolvida para a madura indústria de biodiesel no país.

O aproveitamento da biomassa celulósica também tem escala relevante no setor energético brasileiro. De acordo com o BEN 2021, a lenha e o carvão vegetal representam 8,9% da produção de energia primária do país. A siderurgia brasileira é a única no mundo a conservar um uso significativo do carvão vegetal como agente

11. Fapesp. "Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil: Plano de ação". 2013

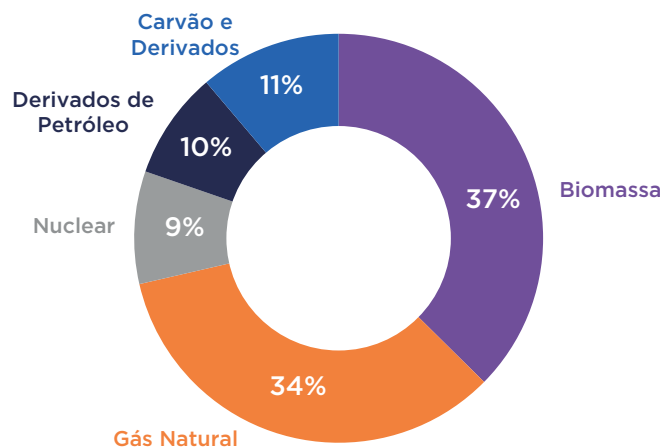
12. Conselho Nacional de Política Energética.

13. "Diesel e nafta verdes" referem-se a correntes similares ao diesel e nafta, porém obtidos de fontes renováveis, de origem vegetal ou animal.

termo redutor. Quase um terço do ferro gusa no Brasil utiliza carvão vegetal como agente redutor¹⁴. A modernização do processo de carvoejamento, para produzir o carvão vegetal, pode levar a uma oferta de bio-óleo¹⁵ como coproduto, aumentando, desta forma, as opções de produção de biocombustíveis de origem celulósica. Além disso, embora o uso do excedente do bagaço e da palha de cana de açúcar para produção de etanol celulósico ainda seja incipiente no país, esta biomassa é largamente utilizada para a geração da bioeletricidade. O amplo aproveitamento do bagaço como fonte de calor e eletricidade torna a biomassa de cana de açúcar a segunda fonte energética mais importante do país, representando 19,1% da oferta interna de energia em 2020.

As usinas térmicas a biomassa, assim como as térmicas a gás, têm como um de seus principais atributos a oferta de energia firme para a rede elétrica interconectada do país. A safra de cana de açúcar no Sudeste permite a geração de bioeletricidade no período seco, apresentando grande complementaridade com as hidrelétricas. As térmicas a biomassa, que em 2020 foram a principal fonte de energia termoelétrica, superando a geração a partir de gás natural (gráfico a seguir), no futuro podem ser associadas com tecnologias de captura e armazenamento de carbono para produção de energia com emissões negativas (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage* - BECCS).

GRÁFICO 9. PARTICIPAÇÃO DE CADA FONTE NA GERAÇÃO TERMELÉTRICA NO ANO DE 2020



Fonte: BEN, 2021

A indústria de bioenergia brasileira contribui com uma importante parcela na produção de combustíveis líquidos, como o etanol e o biodiesel para o setor de transportes, assim como os combustíveis de biomassa sólidos como o bagaço, a lenha, o cavaco de madeira e o carvão vegetal, em conjunto com o GN, contribuem como uma das principais fontes das usinas termelétricas do país.

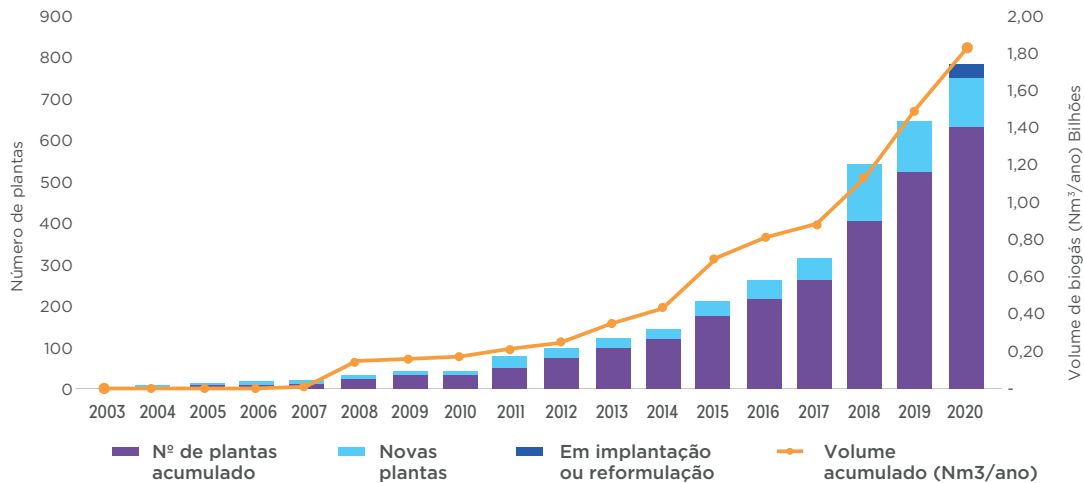
Por outro lado, e diferente dos líquidos e sólidos, a oferta de biogás e de biometa-no está longe de alcançar o seu potencial bruto, embora esteja em franco processo de consolidação. Estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Biogás e Bio-

14. "Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia" - Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015

15. "Bio-óleo" é um líquido negro obtido por meio do processo de pirólise, no qual a biomassa é submetida a altas temperaturas em um ambiente isolado com pouco ou nenhum oxigênio.

metano - Abiogás, em 2018, indicou que o Brasil é o país com maior potencial bruto de produção de biogás, cerca de 84,6 bilhões de Nm³/ano. De 2019 para 2020 o setor teve crescimento de 23% (gráfico a seguir). Apesar desse crescimento, que tem sido consistente nos últimos cinco anos, o país atualmente tem uma produção anual de 1,83 bilhões de Nm³/ano, cerca de 2% do seu potencial bruto¹⁶.

GRÁFICO 10. CRESCIMENTO DO BIOGÁS NO BRASIL



Fonte: ABIOGAS, 2020

A introdução do biometano na malha de gás natural poderia reduzir gradualmente a intensidade de carbono dos consumidores de gás, enquanto, por outro lado, o potencial do biometano poderia se desenvolver apoiado pelos investimentos em infraestrutura existente. Somente no estado de São Paulo existem cerca de 66 usinas sucroenergéticas localizadas a menos de 20 km da malha de gasodutos¹⁷.

Outro ponto seria o uso da terra. Apesar da grande disponibilidade de terras agricultáveis no país, a intensificação da pecuária é uma das questões-chaves para aumentar a disponibilidade de terra e a participação da bioenergia na matriz brasileira sem conversão de ecossistemas. O aumento da densidade da pecuária, subindo das atuais uma cabeça de gado por hectare, para duas cabeças de gado por hectare em 2050, pode ampliar em 69 milhões de hectares a oferta de área para agricultura¹⁸.

Com o uso adequado da terra e condições climáticas favoráveis do país, a bioenergia se apresenta como uma das alternativas mais promissoras para suportar o processo de transição energética brasileira, principalmente no segmento de biocombustíveis, que fazem parte da complexa solução para os setores de difícil descarbonização como o setor aéreo, marítimo e industrial.

16. CIBIOGÁS. Panorama do Biogás no Brasil 2020. Nota Técnica N° 001/2021. 2021

17. EPE. Impactos da Participação do Biogás e Biometano na Matriz Brasileira. IV Fórum do Biogás. 2017

18. EPE. Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050. Nota Técnica PR 04/18. 2018



A Transformação no Consumo de Energia (O Lado da Demanda)

O Desafio das Cidades: Demandas Crescentes e Sustentabilidade

As cidades abrigam hoje pouco mais da metade da população mundial, mas representam quase 2/3 do consumo de energia e cerca de 70% das emissões de carbono associadas, segundo dados da IEA¹⁹. A mobilidade nesses espaços é um elemento de interação entre seus moradores e de desenvolvimento dessas regiões. Contudo, a predominância do transporte motorizado individual para a realização de deslocamentos resulta não apenas em ineficiências econômicas e energéticas, mas também ambientais, uma vez que o transporte de pessoas e mercadorias nas grandes cidades constitui uma importante fonte de emissões, não apenas de GEE, mas também de poluentes locais.

O equacionamento desse problema consiste em prover, à essas populações, serviços descentralizados, bem como meios e condições para se deslocarem com facilidade, eliminando as externalidades negativas hoje associadas à mobilidade: poluição local, congestionamentos, acidentes e gases de efeito estufa. Nessa direção, o planejamento urbano e o transporte coletivo se apresentam como elementos críticos para solucionar adequadamente a questão da mobilidade urbana. A eficiência energética intrínseca do modal coletivo, associada a novas tecnologias de motorização, sistemas inteligentes de controle de tráfego e o incentivo ao transporte não motorizado constituem os meios para uma mobilidade sustentável.

19. IEA. Energy Technology Perspectives. Paris, 2016. Todos os direitos reservados.

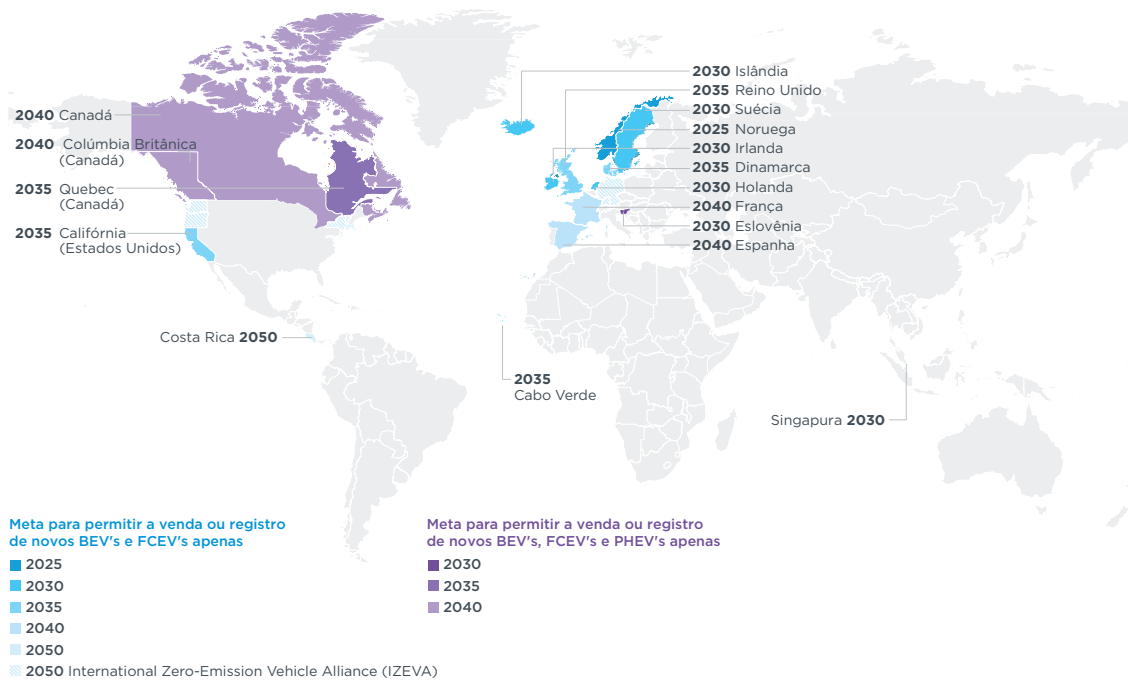
Setor de Transporte

Nesse conjunto de mudanças necessárias para a sustentabilidade, uma tendência já se mostra consolidada: a eliminação gradual dos combustíveis fósseis como fonte de energia para a mobilidade urbana através de duas alternativas mais prováveis, a eletrificação e os biocombustíveis.

Na eletrificação, o transporte pesado (ônibus e caminhões de uso urbano) reúne as condições para ser o segmento pioneiro, uma vez que globalmente é responsável pela emissão de 1/3 dos GEE do setor de transporte e cerca de 70% dos poluentes locais, embora constitua menos de 5% da frota total de veículos. Além disso, o fato de percorrerem distâncias relativamente menores em trajetórias predeterminadas, facilita a instalação da infraestrutura de carregamento. Em relação aos custos, apesar dos ônibus elétricos ainda possuírem maior custo inicial, seus menores custos de operação e manutenção os tornam economicamente competitivos com os ônibus a diesel. Contudo, apesar dessas vantagens, a adoção de políticas públicas é indispensável nos primeiros estágios para criar mercado e escala para as indústrias do setor.

Para a descarbonização da frota de leves, a indústria automotiva global vem desenvolvendo novos modelos e investindo em capacidade para a produção de baterias. Políticas públicas em diversos países têm definido metas para a eletrificação de suas frotas (mapa a seguir). Como resultado, temos visto uma elevação gradual da participação dos veículos elétricos nas vendas globais de automóveis. Em 2020, quase 5% dos veículos vendidos globalmente já eram elétricos²⁰.

GRÁFICO II. GOVERNOS COM METAS OFICIAIS DE ELIMINAR 100% DAS VENDAS OU REGISTROS DE NOVOS CARROS COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA ATÉ UMA DETERMINADA DATA



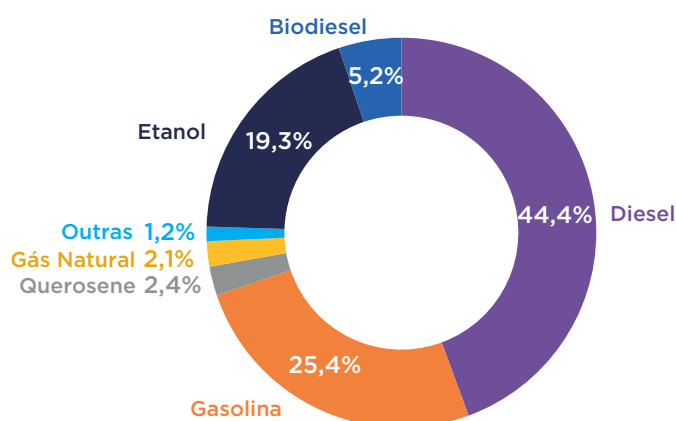
Fonte: ICCT, 2020

20. IEA. Global Electric Vehicles Outlook. Paris, 2021. Todos os direitos reservados.

No Brasil, a matriz de transportes leves já é fortemente renovável, com os biocombustíveis respondendo por mais de 40% da energia consumida no segmento

Enquanto no mundo a indústria automotiva vem desenvolvendo novos modelos e investindo em capacidade para a produção de baterias visando a descarbonização da frota de leves, no Brasil, a matriz de transportes leves já é fortemente renovável, com os biocombustíveis respondendo por mais de 40% da energia consumida no segmento²¹. Esse papel pode se ampliar ao longo do processo de transição, havendo espaço, inclusive, para uma contribuição mais intensa na descarbonização do transporte de cargas de longa distância após o desenvolvimento de biocombustíveis avançados de baixíssima pegada de carbono em todo o seu ciclo de vida. O gráfico a seguir explicita esse potencial para o crescimento da participação de fontes alternativas na matriz de transportes como um todo, uma vez que os fósseis ainda respondem por 3/4 da demanda.

GRÁFICO 12. MATRIZ DE TRANSPORTES BRASIL (2020)



Fonte: BEN, 2021

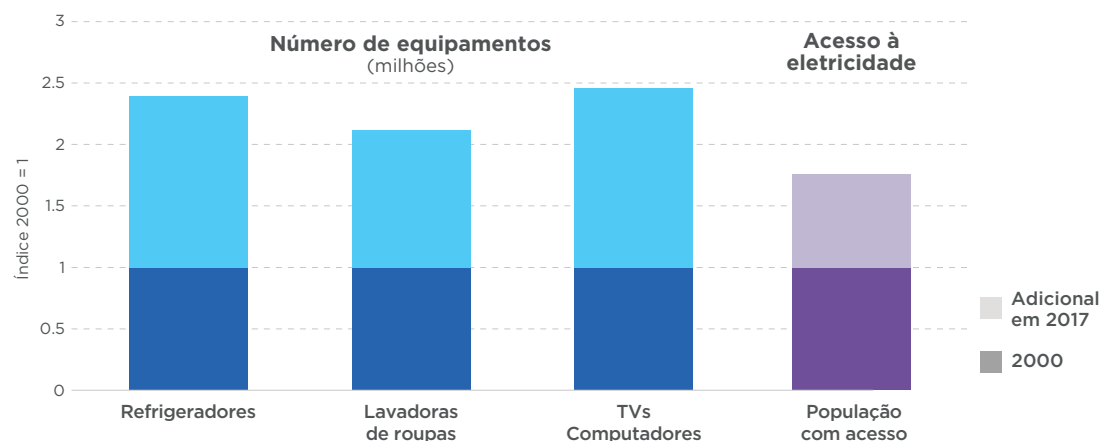
Não obstante essa vantagem competitiva dos biocombustíveis no Brasil, os movimentos globais da indústria automotiva e a redução de custos das tecnologias de armazenamento de energia representam uma força motriz importante no processo de descarbonização do setor de transportes leves. A resultante dessa composição de forças constitui uma das principais incertezas para a transição energética brasileira.

21. EPE. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro. 2021

Setor de Edificações e Residências

Apesar de constituir o segmento que pode oferecer as maiores contribuições para a mitigação de emissões nas cidades, as transformações em curso nas áreas urbanas em todo o mundo não se resumem à questão da mobilidade. Ainda de acordo com dados da IEA²², as edificações e o setor de construção civil são responsáveis por um terço do consumo final global de energia e 40% das emissões diretas e indiretas totais de CO₂. Além disso, a posse e o uso crescente de equipamentos, destacado no gráfico a seguir, bem como a rápida ampliação na área total edificada nos países em desenvolvimento, indicam uma tendência de elevação da demanda de energia nesses segmentos. A duplicação da renda média e o aumento do poder de compra de uma classe média emergente dobraram o uso de eletricidade per capita no setor residencial em um período de vinte anos na maioria dos países em desenvolvimento. No Brasil, a demanda de energia no setor residencial foi 27.6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2020 e, de acordo com o Plano Decenal de Energia (PDE 2030) da EPE, deve crescer a uma taxa média anual de 1,5% até 2030. Ainda de acordo com o PDE 2030, a participação da eletricidade no suprimento dessa demanda deve se elevar de 46% em 2020 para 57% em 2030, projeção que corrobora a análise da IEA para países emergentes. A transição energética em curso precisará conciliar essa tendência de crescimento na urbanização com a sustentabilidade.

GRÁFICO 13. PRINCIPAIS VETORES DE CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ELETRICIDADE NO SEGMENTO RESIDENCIAL DAS ECONOMIAS EM DESENVOLVIMENTO (2000 A 2017)



Fonte: IEA, WEO 2018. Todos os direitos reservados.

Para mitigar os efeitos dessa tendência, políticas públicas e inovações tecnológicas voltadas à racionalização e a eficiência se apresentam como alternativas no âmbito das chamadas “cidades sustentáveis e inteligentes”. Inovações para o gerenciamento da produção descentralizada e da demanda de energia ou para a gestão e aproveitamento de resíduos são exemplos de como essas cidades inteligentes podem mitigar a pressão sobre sua infraestrutura e serviços. É o caso dos sistemas de saneamento e drenagem, tradicionalmente dispendiosos e baseados em estruturas

22. IEA. Buildings - a source of enormous untapped efficiency potential. 2020. Todos os direitos reservados.

de aço e concreto, mas que podem ampliar sua cobertura através de soluções relativamente simples, baseadas na natureza como, por exemplo, a utilização de áreas alagáveis, cobertura natural de morros e a ampliação de áreas verdes.

Adicionalmente, outra frente de aceleração da transição energética nas cidades, também proporcionada pela inovação é a combinação da digitalização das redes de transmissão com a geração distribuída por fontes renováveis e com a crescente disseminação de equipamentos inteligentes de uso doméstico. Esse movimento conjunto aponta para sistemas energéticos mais seguros, distribuídos, integrados e multidirecionais.

Alternativas para os Segmentos de Difícil Descarbonização

Os segmentos de difícil descarbonização são aqueles em que, por motivos técnicos ou econômicos, apresentam perspectivas limitadas para substituição dos combustíveis fósseis por energias menos poluentes. Entre esses, destacam-se o transporte aéreo e marítimo e alguns setores da indústria pesada, como a siderurgia, a química básica e a produção de cimento, cujos próprios processos têm como coproduto o CO₂.

Pelo menos 1,2 bilhão de pessoas no planeta não dispõem de habitação digna e acesso à infraestrutura urbana moderna. O desenvolvimento econômico dessas populações terá como consequência inevitável a elevação da demanda por materiais como aço e cimento.

Novas rotas tecnológicas atualmente em desenvolvimento podem mitigar as emissões desses setores, como o uso de hidrogênio, os sistemas de CCUS e a utilização de biomassa, no entanto, essas rotas ainda não estão consolidadas, e não apresentam viabilidade econômica e/ou escala suficiente. Além disso, a capacidade já instalada não pode ser rapidamente alterada, o que impõe a busca por maior eficiência dos ativos que continuarão em operação ainda por muitas décadas. Nestes casos, as alternativas “de prateleira” que podem ser consideradas para mitigação das emissões do setor seriam a substituição de materiais e a ampliação da reciclagem e da reutilização.

Pelo menos 1,2 bilhão de pessoas no planeta não dispõem de habitação digna e acesso à infraestrutura urbana moderna

Já no caso do transporte aéreo e marítimo, onde são indispensáveis a utilização de fontes com alta densidade energética para reduzir o volume e a massa do combustível transportado, parecem afastadas, ao menos a curto e médio prazo, as opções de eletrificação de navios e aeronaves. A longa vida útil dos equipamentos, também se apresenta como um obstáculo. Embarcações possuem vida útil de até 40 anos e aeronaves de até 20 anos. Isso limita a troca e faz com que novos tipos de

propulsão não sejam, por ora, considerados como rota principal para a transição nesses modais. A solução passa então por novos combustíveis do tipo *drop-in*, adequados para utilização em motores já existentes, com destaque para combustíveis sintéticos como os *e-fuels* e biocombustíveis avançados como, por exemplo, o *biojet* (bioQAv).

Do ponto de vista das políticas públicas, tanto o transporte marítimo quanto o aéreo estão sujeitos a duas esferas de regulação distintas. Governos nacionais e locais estabelecem diretrizes para o transporte que ocorre no interior de suas fronteiras, já o transporte internacional é regulado por duas instituições integrantes das Nações Unidas: a Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization* - IMO) e a Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* - ICAO).

No transporte marítimo internacional, a meta da IMO é que em 2050 as emissões sejam 50% menores do que foram em 2008²³. No transporte aéreo internacional a meta da ICAO é de um crescimento neutro em carbono a partir de 2020. Adicionalmente, na aviação, um outro organismo, a Associação Internacional de Transportes Aéreos (*International Air Transport Association* - IATA), que congrega companhias aéreas de todo o mundo, estabeleceu como meta voluntária a redução, até 2050, das emissões do setor à metade do que eram em 2005²⁴.

Há uma expectativa de que a implementação dessas metas estimule movimentos semelhantes nas esferas nacionais. Especialistas recomendam, entretanto, uma abordagem sistêmica e multicritério na qual, para cada opção, seja avaliado todo o ciclo de vida da alternativa, a disponibilidade de matérias primas, a densidade energética, a existência de padrão de certificação, a compatibilidade com a frota atual, a infraestrutura de armazenamento, a maturidade tecnológica e a segurança na utilização. Além disso, enfatiza-se também a importância de análises cruzadas, que considerem os impactos e sinergias das diversas rotas possíveis (produtos e coprodutos) sobre os demais segmentos, como é o caso, por exemplo, do *Bunker* sintético, que é coproduto do BioQAV avançado, produzido a partir de biomassa.

Isso demonstra a inadequação de metas estritamente setoriais, sendo fundamental uma abordagem integrada, visando metas globais para a limitação da temperatura global, com cada país selecionando o conjunto de medidas mais adequado ao seu cumprimento.

Um mundo carbono neutro em 2050 não significa que todos os setores serão carbono neutro²⁵. Alguns setores, como a siderurgia, apesar dos esforços para oferecer sua contribuição, talvez não consigam neutralizar as emissões, enquanto outros setores podem se tornar “carbono negativo”, garantindo, com isso, a meta global.

Um mundo carbono neutro em 2050 não significa que todos os setores serão carbono neutro

23. IMO. Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. Londres, 2018

24. IATA. Aviation and climate change fact sheet. Montreal, 2021

25. “Carbono zero” refere-se à condição de que qualquer quantidade de CO2 liberado na atmosfera pelas atividades da empresa/setor é equilibrada por uma quantidade equivalente removida. A expressão carbono negativo implica que uma empresa/setor remova mais dióxido de carbono da atmosfera do que emite.

Considerações Finais

A pandemia de Covid-19 demandou esforços das nações, em maior ou menor grau, na forma de políticas fiscais e monetárias expansionistas para mitigar seus efeitos econômicos e sociais. Ao mesmo tempo, ela reforçou a percepção da urgência da mudança climática, ampliando o clamor social por ações ambientais concretas que visem endereçar o risco climático. A preocupação mundial com as mudanças climáticas se acentuou e as ações e políticas que estão sendo desenvolvidas irão se consolidar, produzindo, ao longo das próximas décadas, uma mudança estrutural na configuração da matriz energética mundial que, sozinha, corresponde por 3/4 das emissões globais.

Diferente da matriz mundial, as emissões brasileiras de GEE são principalmente geradas pelo uso da terra e agropecuária, que correspondem a 72% das emissões do país. Está evidente que o grande desafio para o atendimento das metas climáticas do Brasil é o desenvolvimento de um setor agropecuário de baixo carbono e o controle do desmatamento irregular. Nesse campo, a regulamentação dos créditos de carbono, junto com políticas públicas eficazes para manter a “floresta em pé”, pode ter uma contribuição importante. Ao criar uma demanda por compensação das emissões, criam-se incentivos econômicos para setores que absorvem carbono como o reflorestamento, recuperação de pastagens e preservação das florestas. Não obstante, é preciso considerar no planejamento e nas políticas energéticas as oportunidades de tornar a cadeia energética ainda mais sustentável, avaliando e promovendo as alternativas para os setores de difícil descarbonização (indústria pesada e transportes), bem como desenvolver os recursos energéticos de baixo carbono ainda não plenamente explorados.

Adicionalmente, a transição energética pode ser uma importante alavanca para uma economia mais sustentável com o Brasil se posicionando mundialmente como provedor de soluções de baixo carbono para outras regiões. O país já apresenta um setor elétrico majoritariamente renovável e que se expande com soluções renováveis extremamente competitivas em termos globais, podendo este ser o vetor para produção em larga escala de hidrogênio verde. De forma similar, o país se configura como uma

das lideranças globais em bioenergia, com importante participação de biocombustíveis nos transportes (etanol e biodiesel) e na geração de eletricidade, e pode desenvolver competências em novas formas avançadas de biocombustíveis (etanol celulósico, diesel hidrogenado, bioquerosene, *bunker* renovável) e biogás/biometano.

O Brasil também possui um setor de O&G dinâmico e estruturado, que possui grande expertise técnica, capacidade de investimento e desenvolvimento tecnológico, que poderá ser capitalizado em projetos de escala e complexidade requeridos na transição, como por exemplo em projetos de geração de hidrogênio e de eólica *offshore*, ou ainda, com base em seu conhecimento em geologia e reservatórios, os de CCUS. As reservas de gás natural do país podem ser mobilizadas também para produzir hidrogênio azul, bem como formar misturas de baixa intensidade de carbono com o biogás, em um movimento semelhante ao do etanol com gasolina no Brasil. É possível ainda aproveitar o mercado e o arcabouço institucional do mercado de combustíveis fósseis para alavancar novas rotas para os biocombustíveis no país. Ou mesmo aproveitar a infraestrutura estabelecida da indústria de O&G, como, por exemplo, a conversão de refinarias em biorrefinarias e o uso de dutos existentes para transporte de biocombustíveis e biogás. Além disso, o setor pode também contribuir na descarbonização de seus processos e cadeia produtiva, atuando no controle de perdas para *flare*, na eficiência energética e no controle de emissões fugitivas.

Do ponto de vista da demanda, os desafios para melhorar o bem-estar nos grandes centros urbanos brasileiros podem ser endereçados conjuntamente com os objetivos climáticos. Por exemplo, o setor de transportes pode colaborar com a transição energética do país promovendo a eletrificação da frota de veículos pesados, com destaque para os ônibus urbanos onde os motores elétricos são mais eficientes que os de combustão, e investindo em rotas tecnológicas e industriais que produzam biocombustíveis avançados *drop-in* para os diferentes segmentos de transportes. A redução do uso de combustíveis fósseis em países em desenvolvimento, com restrição de recursos para construção da infraestrutura necessária à eletrificação da frota e com dimensões continentais como o Brasil passa, necessariamente, pelo avanço no uso de biocombustíveis.

A competitividade das energias renováveis no Brasil e o movimento internacional para que os impactos climáticos façam parte, ao lado dos impactos sociais e ambientais, das avaliações dos projetos de investimento, facilita a trajetória do setor de novas energias no país. Porém, apesar dessas vantagens, a adoção de políticas públicas é indispensável nos primeiros estágios para criação de mercado e escala para as indústrias do setor.

A transição energética pode ser uma importante alavanca para uma economia mais sustentável com o Brasil se posicionando mundialmente como provedor de soluções de baixo carbono para outras regiões

Entre as oportunidades criadas pela TE no Brasil, destaca-se a possibilidade do país se tornar um *hub* energético, provendo energia sustentável para si e outros países. O Brasil, com seus altos e competitivos potenciais solar e eólico, se favorece com a possibilidade de gerar eletricidade limpa para sua indústria, bem como de produzir o H₂ verde. A adoção do H₂ como rota para TE por alguns países desenvolvidos, como a Alemanha, viabilizaria economicamente esse segmento no Brasil com vistas à exportação (direta ou por meio de produtos). Além disso, o desenvolvimento tecnológico de novos produtos criaria a possibilidade do país se tornar exportador de máquinas e equipamentos utilizados no setor, ou mesmo, como no caso do desenvolvimento dos biocombustíveis avançados *drop-in*, de explorar novos mercados voltados para os segmentos de transporte de difícil descarbonização.

Contudo, o desenvolvimento regulatório e o planejamento são fundamentais para que as tecnologias disponíveis sejam escolhidas pelo valor que elas agregam à sociedade, bem como pela capacidade de promover coordenação entre o setor público e o privado, possibilitando que o país se prepare, não apenas para as oportunidades, mas também para as ameaças da transição energética.

Não existe apenas uma única trajetória no processo de transição energética. Cada país terá que buscar o seu próprio caminho procurando capturar as oportunidades de congregar crescimento econômico e sustentabilidade, ao passo que consolida uma economia de baixo carbono. Nesse sentido, o Brasil não terá uma agenda para a TE igual à da Europa ou dos EUA, uma vez que, considerando seu parque gerador elétrico renovável e o peso do setor de biocombustíveis, o Brasil já vem, há décadas, realizando a sua transição. O país tem a oportunidade de se beneficiar do conhecimento adquirido e de uma matriz energética já equilibrada e sustentável, para criar vantagem competitiva por meio da provisão energética de baixo carbono para as cadeias de valor no país, bem como desenvolver rotas tecnológicas mais avançadas. Deve-se ter em conta que uma adequada coordenação pública-privada, que gerencie os *trade-offs* das alternativas energéticas e mitigue os riscos da transformação, tem o mérito de oportunizar a maximização dos benefícios da trajetória de transição para toda a sociedade, promovendo bem-estar ao mesmo tempo em que posiciona o país com uma matriz energética compatível com uma economia de baixo carbono.

O Brasil não terá uma agenda para a TE igual à da Europa ou dos EUA, uma vez que, considerando seu parque gerador elétrico renovável e o peso do setor de biocombustíveis, o Brasil já vem, há décadas, realizando a sua transição

Tendências e Incertezas

A consideração desse conjunto de fatores põe em relevo algumas tendências e incertezas críticas para a transição energética no Brasil em 2050:

Tendências

- I.** Tendência de deslocamento da agenda ambiental para o centro das políticas econômicas dos países.
- II.** Tendência de redução da utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia para a mobilidade urbana.
- III.** Tendência de ampliação da demanda de energia nas cidades.
- IV.** Tendência de ampliação da demanda de energia do setor industrial global.
- V.** Tendência de ampliação no setor elétrico da geração descentralizada, da digitalização e do uso de fontes renováveis.
- VI.** Tendência de eletrificação do consumo final de energia.
- VII.** Tendência de aumento da oferta de biogás e biometano.
- VIII.** Tendência de uso de biocombustíveis para atendimento das métricas de descarbonização do transporte aéreo e marítimo internacional.
- IX.** Tendência da indústria de óleo e gás buscar processar matérias-primas renováveis nos ativos de refino.

Incertezas

- I. Incerteza da adequação dos incentivos e investimentos alocados aos níveis requeridos para o sucesso da transição energética.
 - II. Incerteza da polarização (ou coordenação) entre potências globais no processo de transição energética.
 - III. Incerteza do ritmo de implantação e efetividade das políticas públicas para mitigação de emissões.
 - IV. Incerteza da velocidade da redução de custos das novas tecnologias de motorização e armazenamento de energia.
 - V. Incerteza da mudança de preferências do consumidor relativamente à adoção do compartilhamento de seus deslocamentos, seja em modais coletivos públicos, seja em transporte por aplicativos.
 - VI. Incerteza da velocidade de ampliação nos níveis de reciclagem e reutilização de materiais industriais intensivos em emissões.
 - VII. Incerteza da velocidade de redução nos custos de fabricação de combustíveis avançados tipo *drop-in* para o transporte aéreo e marítimo.
 - VIII. Incerteza da capacidade de coordenação entre os diversos setores para a implementação de soluções integradas multissetoriais.
 - IX. Incerteza na trajetória de desenvolvimento do potencial de geração da fonte eólica *offshore*.
 - X. Incerteza sobre o ritmo de implantação das mudanças regulatórias em curso no setor elétrico e se elas serão efetivas para permitir a introdução de novas tecnologias e garantir que as diferentes fontes sejam valoradas pela sua real contribuição ao sistema.
 - XI. Incerteza sobre como o Brasil vai se inserir na economia do hidrogênio.
 - XII. Incerteza sobre como os arranjos energéticos com o hidrogênio poderão impactar o desenvolvimento do setor elétrico.
 - XIII. Incerteza sobre que fontes e tecnologias podem ganhar espaço no setor elétrico no contexto da transição energética.
 - XIV. Incerteza sobre quais são as melhores alternativas de armazenamento de energia para o país: reservatório das hidrelétricas, hidrogênio, baterias, caverna etc.
-

-
- XV.** Incerteza sobre o impacto na operação e infraestrutura de geração e transmissão elétrica como resultado da tendência de descentralização, descarbonização e digitalização em curso.
-
- XVI.** Incerteza sobre como será o ritmo de penetração das redes inteligentes de energia nos próximos anos.
-
- XVII.** Incerteza sobre se o Brasil será capaz de exportar eletricidade renovável via H₂.
-
- XVIII.** Incerteza sobre o papel do gás natural na transição energética.
-
- XIX.** Incerteza sobre a forma de explorar o potencial renovável do Nordeste, ampliar a transmissão elétrica, permitindo maior exportação de energia elétrica para os outros subsistemas ou exportando H₂, amônia ou gás sintético, por exemplo.
-
- XX.** Incerteza se o biogás e biometano serão usados predominantemente de forma descentralizada ou terão acesso à malha de dutos possibilitando a descarbonização do GN.
-
- XXI.** Incerteza quanto aos combustíveis para descarbonização do transporte marítimo internacional.
-
- XXII.** Incerteza quanto a oferta de biocombustíveis na quantidade necessária para descarbonização do transporte rodoviário pesado, transporte marítimo e aéreo.
-
- XXIII.** Incerteza se a cadeia de bio-óleo vai se desenvolver no Brasil e com que velocidade.
-
- XXIV.** Incerteza sobre a regulamentação das rotas de biorrefino por coprocessamento.
-
- XXV.** Incerteza sobre a competitividade relativa do veículo elétrico puro em relação aos veículos flex ou híbridos.
-

Próximos passos

As visões de futuro obtidas na 1ª Fase do PTE precisam ser consolidadas e priorizadas para gerarem insumo aos modelos de cenário que serão desenvolvidos. Para essa convergência, especialistas serão convidados a avaliar e classificar as tendências e incertezas consolidadas quanto ao seu nível de incerteza e nível de impacto no mercado de energia. A massa crítica gerada será então priorizada em uma matriz de impacto cruzado, dando suporte aos elementos que serão utilizados na quantificação das variáveis que serão utilizadas na modelagem de cenários.

O escopo do trabalho prevê a elaboração de três trajetórias de transição energética que serão simuladas na 3ª e última fase do PTE, a de desenvolvimento de cenários, prevista para ocorrer em 2022.

Realização:



cebri.org



iadb.org



epe.gov.br

Patrocínio:



Apoio: