

Caminhos para a transição  
energética no Brasil  
Um modelo de energia sustentável  
para o Brasil até 2050

Dezembro de 2022



# Sumário

Objetivos e agradecimentos	05
Siglas, abreviaturas, acrónimos, abreviaturas e unidades de medida	07
Prefácio do Country Manager do Grupo Enel no Brasil	09
Resumo Executivo	10
A Luta Contra as Mudanças Climáticas	22
O modelo energético brasileiro até 2050	37
Transição energética	50
Recomendações de política energética para descarbonização sustentável	77
Conclusões	94
Contatos	95



# Objetivos e agradecimentos

Este relatório foi promovido pelo Grupo Enel no Brasil e elaborado pela Deloitte como uma reflexão analítica e participativa sobre a necessária transição para a descarbonização sustentável do modelo energético brasileiro. Esta transformação enquadra-se no cumprimento do objetivo nacional de redução das emissões de gases com efeito de estufa e na consideração de outros aspectos fundamentais da política energética: a segurança do abastecimento, a competitividade do sistema económico-energético, a compatibilidade com critérios de crescimento e sustentabilidade ambiental e social.

Estamos conscientes de que o debate sobre a transição para uma economia sustentável baseada em tecnologias de baixas emissões de carbono é um tema de especial relevância para a nossa sociedade, pelo seu inegável impacto na sustentabilidade ambiental e económica, mas também pela sua especial complexidade. Nesse contexto, os objetivos do estudo foram os seguintes:

- Fornecer uma visão de longo prazo do que implica o cumprimento dos compromissos internacionais de redução de emissões no Brasil para o horizonte 2050 que serve de referência para definir a transição para um cenário de neutralidade carbónica.
- Desenvolver a análise de médio prazo que orienta a necessária transição energética, com vistas ao marco intermediário de 2030, a fim de fornecer uma série de recomendações de política energética para uma descarbonização eficiente.

Este estudo contou com a participação voluntária de diversos atores de reconhecido prestígio e com diversos perfis, com o objetivo de compartilhar e enriquecer seus pontos de partida, coletando sua visão sobre os temas mais relevantes e identificando possíveis caminhos para um Brasil sem emissões.

**Agradecemos especialmente a todos os participantes por sua colaboração ao longo do estudo:**

**Cristian Serricchio**  
Sócio

**Damian Grignaffini**  
Gerente

**Tomas Cardozo**  
Sênior

**Sebastian Yopez**  
Sênior

**Clara Mackey**  
Sênior

**Além disso, foram recebidos conselhos de:**

**Paulo Farina**  
Assessor Externo

Buenos Aires, 27 de dezembro de 2022

Assunto: Agradecimentos ao Grupo Enel e equipe

Este relatório e os estudos que o facilitaram foram amplamente promovidos pelo Grupo Enel e sua equipe de trabalho. Sua colaboração e participação foram essenciais para a elaboração do relatório sobre a transição para a descarbonização sustentável do modelo energético brasileiro.

A Deloitte gostaria de agradecer especialmente ao Grupo por ter promovido e apoiado materialmente a iniciativa; além de contribuir com expertise e Know How de iniciativas similares desenvolvidas em outros países. Ele também nos acompanhou na apresentação aos stakeholders brasileiros, favorecendo sua divulgação no setor e gerando uma forte conscientização.

Sinceramente



**Christian Serricchio**  
Sócio - Assessoria Financeira

# Siglas, abreviaturas, acrônimos, abreviaturas e unidades de medida

**AFOLU:** Agricultura, silvicultura e outros usos do solo  
**ARD:** Esgoto Doméstico/Comercial  
**ARI:** Efluentes Industriais  
**CH4:** Metano  
**CO2:** Dióxido de carbono  
**COP21:** Vigésima primeira Conferência das Partes  
**COP27:** Vigésima sétima Conferência das Partes  
**DSOs:** Operadores do Sistema de Distribuição  
**AT:** Alta tensão  
**EAT:** Extra Alta Tensão  
**GLS:** Serviço de iluminação geral  
**GtCO2eq.:** Gigatonelada de dióxido de carbono equivalente  
**GW:** Gigawatt  
**HFC:** Hidrofluorcarbonos  
**HL:** Lâmpadas de halogéneo  
**HVAC:** Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado  
**INEC:** Instituto Nacional de Estatística e Censos  
**IPCC:** Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas  
**IRENA:** Agência Internacional para as Energias Renováveis  
**KCO2:** Milhares de toneladas de CO2  
**LCOE:** Custo nivelado da energia  
**LED:** Diodo Emissor de Luz  
**MtCO2eq.:** Megatonelada de dióxido de carbono equivalente  
**NDC:** Contribuição determinada nacional  
**NOx:** Óxido de nitrogênio  
**ODS:** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
**ONU:** Nações Unidas  
**PIB:** Produto Interno Bruto  
**PNUD:** Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento  
**RSU:** Resíduos Sólidos Urbanos  
**TC:** Transformador de corrente  
**TEP:** Tonelada equivalente de petróleo  
**TWh:** Terawatt-hora  
**USCUSS:** Uso do solo, mudança de uso do solo e silvicultura  
**USD:** Dólares americanos  
**VEB:** Veículos eléctricos a bateria



# Prefácio do Grupo Enel no Brasil

A Enel Brasil coloca em suas mãos o estudo "Caminhos para a Transição Energética no Brasil", realizado pela consultoria internacional Deloitte com a participação de diversas instituições públicas e privadas do país, como proposta técnica para promover a necessária transição para a descarbonização sustentável do modelo energético brasileiro.

Promovemos esta iniciativa porque estamos conscientes de que a transição energética deve ser vista como o caminho a seguir para garantir que nossos filhos, e os filhos de nossos filhos, recebam um mundo que lhes permita crescer e desenvolver todo o seu potencial.

Esta proposta aberta e colaborativa tem como valor mais marcante uma visão abrangente de todos os aspectos necessários para alcançar uma mudança sustentável e justa. Entre eles, a situação atual e futura da demanda energética, a incorporação de tecnologias inteligentes e não convencionais, o desenvolvimento

da mobilidade elétrica, a análise custo-benefício para a economia do país e a análise do impacto no emprego entre reconversão de postos de trabalho e criação de novas ofertas de emprego. Tudo isso, baseado em uma proposta de cenários e metas específicas para esse processo.

Agradeço a todas as instituições que participaram deste estudo que marca o caminho a seguir para avançar na construção do país que sonhamos.

**Nicola Cotugno**  
Country Manager Enel Brasil

**Maurizio Bezecheri**  
Head da Enel na América Latina

# Resumo executivo

## A luta contra as alterações climáticas

O Acordo de Paris, alcançado na XXI Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, incluiu como objetivo o compromisso de conter o aumento da temperatura média da Terra “bem abaixo de 2°C” no que diz respeito à o nível pré-industrial, e nos esforçamos para limitá-lo a 1,5°C, bem como alcançar a neutralidade de emissões entre 2050 e 2100.

As partes chegaram a um acordo para preparar, comunicar e manter as contribuições nacionais no futuro, implementando medidas para atingir o objetivo global estabelecido.

## O modelo energético brasileiro até 2050

A mudança nas formas de produção e consumo de energia até 2050 é essencial para a redução das emissões.

O processo de atualização de cenários para avaliação do modelo de energia sustentável para o Brasil em 2050 necessariamente exigiu a elaboração da linha de base para comparação dos resultados (nesta oportunidade, consideramos 2019 como o ano base, dada a última atualização do Inventário Nacional de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa), e os impactos das ações e medidas de mitigação das mudanças climáticas para o sistema como um todo.

Com base nessa premissa, foi simulado o cenário de tendência ou "referência", que mantém o status quo do ano de 2019 (no que diz respeito à matriz produtiva, energética e de emissões) até 2030 e inclui medidas de mitigação do mesmo, seguindo as diretrizes traçadas pelo o governo brasileiro em suas próprias projeções, na hipótese de um crescimento médio da economia de 1,8% ao ano (a partir de 2025, antecipando um efeito Covid-19) até o ano de 2050. Como resultado da projeção, obteve-se que o total de GEE das emissões atingiriam um valor próximo a 2.326,55 MtCO<sub>2</sub>eq até 2030 e 2.439,11 MtCO<sub>2</sub>eq até 2050.

Por sua vez, o **Cenário Net Zero** representa um horizonte alternativo que permite reduzir em 100% as emissões de gases de efeito estufa em relação à projeção feita no cenário de referência para 2050, o que permite ao Brasil atingir a meta de neutralidade de carbono.

No **Cenário Net Zero**, são introduzidas políticas de mitigação e mudanças na matriz energética, visando maximizar os benefícios da descarbonização em um contexto de apoio internacional. Nesse sentido, dada a multiplicidade de opções de mitigação disponíveis, e não menos importante, a inter-relação entre elas, estas foram divididas em quatro vetores de descarbonização necessários para atingir metas mais ambiciosas até 2050. São elas:

- **Mudança para fontes de energia primária essencialmente renovável, visando uma matriz elétrica verde:** Para que a substituição de fontes primárias tenha efeito duradouro, é necessário que a eletricidade seja produzida por meio de fontes renováveis de energia.
- **Promoção da eficiência energética e eletrificação dos usos finais:** Existe um grande potencial para reduzir as emissões, dissociando o crescimento econômico do consumo de energia. As oportunidades de redução da intensidade energética na produção de bens, o potencial de economia de energia no consumo residencial e no setor de serviços, bem como a eficiência dos processos de transformação aumentam a energia utilizada e minimizam os desperdícios. Por sua vez, espera-se uma mudança para fontes de energia primária de baixa emissão de gases de efeito estufa, como eletricidade, biocombustíveis e hidrogênio verde, em substituição a fontes de alta emissão, como carvão, petróleo e seus derivados.

Os conteúdos, análises, conclusões e recomendações descritas neste relatório não necessariamente refletem a opinião de cada um dos especialistas participantes. Foram expressas visões e opiniões diversas e, em algumas ocasiões, conflitantes, que serviram para enriquecer e contrastar os aspectos fundamentais abordados no estudo.

- **Desenvolvimento e digitalização da infraestrutura:** A atualização da infraestrutura e a digitalização são fundamentais para sustentar a transição para um modelo de energia sustentável e de baixo carbono. O aumento da demanda de eletricidade deverá conduzir a uma mudança de paradigma de um sistema tradicional para um sistema completamente flexível que se adapte ao aumento das energias renováveis e à geração descentralizada.
- **Incentivo aos métodos de produção sustentáveis:** Na indústria e principalmente na pecuária, agricultura e florestas, é necessário adotar métodos de produção sustentáveis que permitam reduzir o nível de emissões de gases de efeito estufa.

## Transição energética

O caminho a ser percorrido na transição deve ter um planejamento cuidadoso que garanta a consecução de objetivos ambientais ambiciosos, de modo que o esforço conjunto de toda a sociedade, bem como o volume significativo de investimentos, sejam refletidos de forma efetiva. Nesse sentido, o desenho e o timing das transformações devem ser realizados sem colocar em risco a atividade econômica ou a segurança do abastecimento energético e, ao mesmo tempo, otimizar custos e investimentos.

Essa transição deve avançar nos quatro grandes vetores mencionados anteriormente:

### 1. Mudar para fontes de energia primária essencialmente renovável, visando uma matriz elétrica verde

O passo inicial para estabelecer o desenho da matriz elétrica essencialmente renovável no futuro deve focar na promoção do uso de fontes renováveis de energia para a produção de eletricidade. Olhando para 2050, espera-se uma forte penetração da geração a partir de fontes renováveis, considerando a redução dos custos de tecnologia. Tais reduções podem ser ainda maiores se o custo social das emissões de carbono for incluído.

A capacidade instalada essencialmente renovável<sup>1</sup> projetada para o **Cenário Net Zero** chega a 76% (sem hidrelétrica e 95% (com hidrelétrica), elevando o percentual de geração baseada em fontes limpas para 79% (sem hidrelétrica) e 99% (com energia hidrelétrica) até 2050.

Por sua vez, a complementaridade que permite a geração hidrelétrica e eólica, somada à expectativa de incorporação da energia solar com a adição de baterias, permitiu apontar para uma penetração agressiva de fontes renováveis não convencionais (eólica e solar). No **Cenário Net Zero** a capacidade instalada atinge um total de 343,9 GW de energia eólica e 157 GW de energia solar em 2050.

A maior penetração das energias renováveis variáveis exige a gestão dos picos de demanda, por meio da gestão ativa da demanda, tendo como respaldo principalmente a crescente participação das tecnologias de armazenamento e geração hidrelétrica. Além disso, serão necessários investimentos em redes de transmissão e distribuição para proporcionar maior flexibilidade na operação.

<sup>1</sup> A capacidade instalada sem emissões é definida como capacidade de produção de energia que não emite gases de efeito estufa para a atmosfera (hidro, eólica, solar e outras energias renováveis).

## 2. Promover a eficiência energética e eletrificação dos usos finais

A evolução para uma matriz energética mais limpa em termos de emissões passa também pela redução da intensidade energética, que é conseguida através de melhorias na eficiência energética. Todos os setores de atividade em nível nacional devem estar alinhados para reduzir o consumo de energia do país e, portanto, as medidas correspondentes devem afetar cada um deles.

Em termos de eletrificação, um nível de 44% do consumo final de energia no **Cenário Net Zero** precisaria ser alcançado até 2050, em comparação com uma participação atual de 20% no ano base. Por sua vez, o consumo de derivados de petróleo deverá ser reduzido para uma participação de 34% do consumo de energia final no referido cenário, ante a participação de 49% registrada no ano base.

### Eletrificação dos setores residencial, comercial e público

Em 2019 (ano base), o setor residencial, comercial e público foi responsável pela emissão de 21,51 MtCO<sub>2</sub> equivalente (6% do total de emissões no Brasil)<sup>2</sup>.

Para atingir esta penetração a partir dos valores atuais, o consumidor residencial e comercial, bem como o Estado para os seus edifícios e equipamentos públicos, necessitará investir em novos equipamentos elétricos de cocção e eletrodomésticos com maior nível de eficiência que possam surgir no mercado nos próximos anos. A adoção de uma ou outra fonte de energia será derivada da competitividade de custos das diferentes soluções tecnológicas disponíveis e das regulamentações aplicáveis, inclusive aquelas que estimulem a redução de emissões nesses consumos.

### Eletrificação do setor agrícola

Nos próximos 10 anos, espera-se uma revolução tecnológica em máquinas agrícolas em nível global, provocando mudanças nos paradigmas de produção, comparáveis às produzidas pelo surgimento do trator a diesel nas décadas de 50/60 do século passado. Por esta razão, embora no Brasil o desenvolvimento de "robôs" e/ou máquinas que utilizam baterias de recarga elétrica ou solar (já disponíveis em alguns países europeus) ainda esteja em fase de projeto de protótipo, a construção do **Cenário Net Zero** contempla a substituição desse tipo de tecnologia gradualmente para o período 2019-2050.

Espera-se que a eficiência dos maquinários existentes e a introdução de novos maquinários agrícolas que utilizem energia elétrica como insumo contribuam para alcançar a neutralidade de carbono do setor no **Cenário Net Zero** para 2050.

### Substituição de combustíveis no setor industrial

A implementação de medidas tendentes a melhorar a eficiência energética na indústria permitiria às empresas reduzir custos substanciais, conseguindo uma otimização da utilização de energia e ao mesmo tempo contribuindo para o combate às alterações climáticas. A mudança tecnológica para equipamentos mais eficientes também permitiria avanços significativos em termos de intensidade energética e emissões. Especificamente no caso brasileiro, a substituição de equipamentos bastante difundidos nas plantas fabris, como motores elétricos e caldeiras (antigos, de uso intensivo e baixo rendimento médio), muito contribuiria nesse sentido.

A implementação destas medidas no Cenário Net Zero permitirá alcançar uma redução das emissões totais - devido ao consumo de energia e processos - de 75% até 2050 em relação ao cenário de referência. Ao mesmo tempo, haverá avanço na industrialização sustentável e redução da lacuna existente na intensidade energética do Brasil em relação aos países industrializados que já apresentam maior avanço em termos de desenvolvimento tecnológico.

O hidrogênio verde pode ser usado como substituto do carvão, petróleo e gás em uma ampla variedade de aplicações. Nesta atualização do Roadmap de Transição Energética, o uso do hidrogênio verde foi incluído no longo prazo (período 2030-2050) como vetor de descarbonização dentro do Cenário Net Zero. Nesse sentido, até 2050 estima-se que aproximadamente 10% do consumo de energia do setor industrial será baseado no hidrogênio verde.

<sup>2</sup> Este ano é uma projeção baseada nos dados de 2016 (último ano disponível do quarto inventário do Brasil) e respeitando os dados de emissões para o setor de energia, como declarado pela SIRENE. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>

### Setor de transporte

As emissões de GEE do setor de transporte estão crescendo, em nível internacional, na maior taxa desde 1970<sup>3</sup>. Uma das razões é o aumento da motorização à medida que cresce o PIB per capita. Para mitigar potenciais emissões do setor, são identificadas cinco linhas de ação. Em primeiro lugar, políticas tendentes a reduzir a intensidade energética dos veículos e, juntamente com elas, medidas que tendem a restringir a intensidade de carbono por combustível. A maior eficiência, de qualquer forma, será insuficiente, razão pela qual é necessário avançar para modos de mobilização livres de emissões, como os veículos elétricos e o aumento da utilização do modal ferroviário, especialmente quando se trata do transporte de cargas. Além disso, há oportunidades importantes para aumentar o uso do transporte público, ou modificar comportamentos que promovam o uso da bicicleta, compartilhar o uso do veículo (car sharing) ou reduzir a necessidade de deslocamento, como o trabalho remoto. Estima-se então uma eletrificação de ônibus de 41% até 2030 e 99% até 2050.

O desenvolvimento do Battery Electric Vehicle (BEV) é o compromisso mais importante para descarbonizar o setor dos transportes. No **Cenário Net Zero**, projeta-se uma penetração da mobilidade elétrica de 10% para 2030 e 51% para 2050 da frota total de veículos particulares, em comparação com uma participação de 0,03% no ano base, com base no seu barateamento relativo.

Por fim, nesta rota de transição energética do Brasil até 2050, o hidrogênio verde foi incorporado com alguma participação no consumo total de combustíveis do setor vinculado ao transporte de cargas pesadas (aviação e navegação). Relativamente ao setor do transporte de carga, as medidas visam promover a introdução do hidrogênio verde como vetor de descarbonização da frota de carga pesada. Por isso, apenas no **Cenário Net Zero**, a introdução do hidrogênio verde é contemplada como substituto do Diesel como combustível, atingindo um consumo total de 0,14 milhão de TEP (tonelada equivalente de petróleo) em 2050, o que representa 0,1% do consumo de energia do setor dos transportes.

### 3. Desenvolvimento e digitalização de infraestrutura

Da mesma forma que há um desafio na busca da eficiência por meio de uma gestão ativa no relacionamento entre os prestadores de serviços de rede e seus prosumidores<sup>4</sup>, também há desafios tecnológicos relacionados à integração entre os prestadores de serviços de distribuição e transmissão. Essa integração permitirá melhor aproveitamento das sinergias e coordenação nos sistemas, tendo em vista que nesta nova realidade os tradicionais fluxos unidirecionais são substituídos por fluxos bidirecionais de energia.

## A atualização da infraestrutura e a digitalização são a base para sustentar a transição para um modelo de energia sustentável e de baixo carbono.

O aumento da procura de eletricidade deverá conduzir a uma mudança de paradigma de um sistema tradicional para um sistema completamente flexível que se adapte ao aumento das energias renováveis e à geração descentralizada.

O documento PET/PELP Ciclo 2022 – 1º Semestre (último relatório publicado) contempla todas as obras de ampliação do Sistema Interligado Nacional (SIN) recomendadas nos estudos de planejamento concluídos até junho de 2022 e que ainda não estão autorizadas ou licitadas, mas contabilizando os resultados do recente Leilão de Transmissão 001/2022 (junho/2022).

No Brasil, os investimentos em transmissão têm como objetivo atender às necessidades de seus atuais e futuros clientes, garantindo o atendimento aos critérios técnicos, econômicos, financeiros e ambientais vigentes em todos os momentos. Neste sentido, o crescimento à nível demográfico, o maior nível de atividade econômica e o alcance da eletrificação dos usos finais propostos no nosso cenário de neutralidade de emissões, levam-nos a considerar a necessidade de investimento em redes para suportar o crescimento projetado para a matriz energética, garantindo o atendimento às novas demandas.

Para atingir as metas de eletrificação até 2050, é necessário um esforço adicional, pois será necessário expandir um total de 349.088 km de linhas de transmissão elétrica, o que permitirá o despacho de 577 GW de potência adicional para a descarbonização do Brasil.

<sup>3</sup> Fonte: IPCC - [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter8.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf)

<sup>4</sup> Indivíduos que consomem e produzem ENERGIA, seja para autoconsumo ou consumo de terceiros. O termo é uma junção das palavras produtor e consumidor em inglês (producer and consumer).



Fonte: Enel

Novas infraestruturas de rede de transmissão e distribuição são fundamentais para impulsionar o crescimento das energias renováveis. No horizonte de 2030, serão necessários novos investimentos em redes elétricas tanto para permitir o acesso a locais com elevado potencial renovável, como para prosseguir uma rede mais interligada que permita aumentar a confiabilidade do sistema.

Uma rede elétrica moderna trará muitos benefícios para a população e economia do país. A digitalização da rede permitirá que os clientes das concessionárias gerenciem melhor e reduzam os custos de eletricidade, cortes de energia mais curtos e menos frequentes, melhorias nas condições de trabalho e segurança pública. Ao mesmo tempo, fortalecerá o sistema elétrico, aumentando a confiabilidade e a resiliência do serviço mesmo em caso de condições climáticas severas. Por exemplo, inserção de tecnologias na rede, sensores, equipamentos de automação e comunicação para monitoramento e serviços remotos, medidores inteligentes, entre outros.

A implantação massiva de medidores inteligentes proporcionará um retorno positivo tanto para o sistema quanto para os clientes. Os benefícios incluem eficiência energética e a oportunidade para os usuários gerenciarem ativamente sua demanda e mudarem hábitos e atualizarem a tecnologia, levando a uma melhor eficiência. Além disso, permitiria a entrega de serviços à distância, redução do uso de insumos (papel), redução da frota de veículos em circulação, entre outros.

#### **4. Incentivar modos de produção sustentáveis (setor não energético)**

O setor não energético tem participação de 67% (781,92 MtCO<sub>2</sub>eq.) do total de emissões no ano base, explicado principalmente pelos setores de uso da terra, mudança de uso da terra e silvicultura e pecuária.

No setor pecuário, as medidas de mitigação têm a ver com a otimização da gestão pecuária com base na melhoria da qualidade dos alimentos e suplementos alimentares, campanhas de vacinação do gado com o objetivo de reduzir as emissões de gás metano e implementação de práticas de pastoreio rotativo (de curta duração e alta densidade) que permitem uma melhor regeneração das pastagens que servem como sumidouros de carbono.

Por sua vez, para o setor de uso da terra, as medidas estão associadas à redução da taxa de desmatamento ao longo dos anos até a sua completa eliminação, ao aumento de áreas de reflorestamento e processo e sistemas de agrofloresta, à melhoria das pastagens e à implementação de boas práticas nos usos da terra para cultivo.

No setor dos resíduos, as medidas de mitigação impostas promovem a geração de eletricidade a partir dos resíduos e melhoram o tratamento das águas residuais, uma mudança de comportamento para a reutilização, redução e reciclagem.

A par do que foi alcançado, as medidas contempladas para a elaboração do **Cenário Net Zero** permitem projetar uma redução de 113% respectivamente em termos de emissões de gases de efeito estufa, relativamente ao cenário de referência, até 2050.

## Impactos Econômicos da Descarbonização

Para alcançar a neutralidade de carbono até 2050, será necessário um investimento total de US\$ 407,6 bilhões, abrangendo todos os setores econômicos, especialmente na transformação da matriz elétrica, o setor de transporte e o setor ligado ao uso da terra, mudança do solo e silvicultura. Desse total de investimentos, 78% poderiam ser financiados por mecanismos de Precificação de Carbono, com os quais os investimentos líquidos totalizariam US\$ 317,5 bilhões.

Por sua vez, o estudo conclui que o processo de descarbonização no país gerará um benefício líquido acumulado a valor presente de US\$ 273,1 bilhões até 2050.

Essa transição, a partir de um aumento líquido do PIB de 1,8% poderá chegar a 3% até 2050 se incorporarmos a estimativa de danos climáticos evitados<sup>5</sup>.

Por outro lado, o roteiro de transição energética contempla as disposições do Acordo de Paris em termos de reconhecimento da necessidade de uma transição justa, que visa aumentar a prosperidade e pode ser um motor fundamental na criação de emprego. Envolve tanto o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) nº 8, que busca promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego e o trabalho decente para todos, quanto o ODS nº 13, focado na adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas.

O estudo mostra que, por meio da implementação das recomendações propostas abaixo baseadas nas melhores práticas globais, poderão ser criados 7.981.517 empregos líquidos no país até 2050, entre empregos criados e substituídos.

## Recomendações

Tanto na administração pública quanto no setor privado brasileiro, são necessárias ações decisivas para liderar a mudança no modelo energético. A luta contra as alterações climáticas exige a mudança de padrões e modos de consumo, a utilização massiva de energias renováveis e um enorme esforço de eficiência energética. Tudo isso requer a mobilização dos diferentes atores para viabilizar os investimentos necessários em geração, em infraestrutura, em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P+D+I), em novas formas de construção e nos usos finais de energia. Essa mudança exigirá o envolvimento e a conscientização da sociedade como um todo.

Para isso, torna-se necessário implementar uma série de políticas que estimulem mudanças estruturais e estabeleçam novos marcos legais e regulatórios. Uma intensa coordenação do planejamento e execução das ações entre as diversas instituições públicas será essencial para a tomada de decisões racionais e eficientes por parte de empresas e consumidores finais.

Para realizar uma transição gradual e competitiva, mas decisiva e com o compromisso de mudar as estruturas do nosso modelo energético, propõe-se um conjunto de recomendações para o desenvolvimento de uma política de descarbonização que dê a necessária importância à segurança e competitividade do modelo energético.

**"Tanto na administração pública quanto no setor privado brasileiro, são necessárias ações decisivas para liderar a mudança no modelo energético"**

5 Fonte: Análise da Deloitte baseada na Organização Internacional do Trabalho - "Emprego em um futuro de emissões líquidas zero na América Latina e no Caribe", OECD "Investing in Climate, Investing in Growth" e "Just E-volution 2030" Estudo; Enel, Fundação Enel, The European House - Ambrosetti, 2019



## Recomendações para geração de eletricidade a partir de uma matriz verde

- 1 Acelerar a Transição Energética para uma matriz de geração de eletricidade essencialmente renovável.
- 2 Promover o desenvolvimento de técnicas de armazenamento de energia solar e eólica como suporte ao desenvolvimento das energias renováveis, à melhoria da qualidade do serviço e à redução de custos.
- 3 Promover técnicas de Resposta da Demanda e outros programas relacionados, atualizando os valores de remuneração desses serviços.
- 4 Promover a integração energética com os países vizinhos.
- 5 Desenvolver uma regulamentação que estimule os investimentos necessários nas redes.
- 6 Fortalecer os benefícios da energia distribuída, a partir da correta alocação de custos, alcançando a plena implementação da Lei 14.120 de 2022.
- 7 Incentivo à implementação de medidores inteligentes a nível nacional a partir de uma análise de custos e benefícios da tecnologia, acompanhado de um plano de comunicação do governo sobre vantagens de adoção da mesma.
- 8 A descarbonização, digitalização e descentralização da prestação do serviço de energia elétrica, reconhecendo o seu papel na transição energética.
- 9 Projetar uma estrutura tarifária que represente preços adequados para promover uma resposta ativa por parte da demanda e a correta alocação de custos do sistema.
- 10 Buscar integração entre distribuidoras e transportadores de energia para otimizar a gestão da matriz elétrica.
- 11 Estabelecer a Eficiência Energética como uma política de Estado, para a qual se promova a sanção de uma Lei de Eficiência Energética abrangente.
- 12 Atender à crescente demanda por energia, abordando as mudanças climáticas e os impactos sociais e de gênero.



## Recomendações destinadas a reduzir as emissões nos setores residencial, comercial e de serviços públicos

- 13** Promover a redução das emissões dos setores residencial e comercial.
- Substituição das tecnologias existentes por outras mais eficientes energeticamente na categoria "refrigeração" (ar condicionado e refrigeradores).
  - Substituição de fogões a GLP e utilização de biomassa para fogões elétricos.
  - Substituição das luminárias tradicionais por luminárias LED, seguindo tendências de mercado que apontam para a não comercialização de lâmpadas halógenas.

- 14** Promover a redução das emissões do setor público.
- Estabelecer obrigações, sujeitas a revisão e fiscalização, de definir um padrão para edifícios públicos que serão inaugurados no futuro (como autarquias, empresas públicas, escolas e hospitais), para que sejam adequados ao uso de aparelhos elétricos.
  - Substituir gradualmente os dispositivos não elétricos por elétricos nos estabelecimentos públicos existentes.
  - Incorporar um plano de transferência da iluminação tradicional para a tecnologia LED por meio de programas de licitação pública para realizar as referidas substituições.
  - Promover a eletrificação das frotas de veículos em atividades de serviço público (corpo de bombeiros, polícia, ambulâncias, etc.).



## Recomendações destinadas a reduzir as emissões no setor dos transportes

15

Promover a mobilidade sustentável nos transportes leves.

- Acelerar o cronograma para a introdução de regulamentos que limitam a poluição ambiental e o consumo de combustível de veículos com motores de combustão interna. O Brasil, em consonância com as mudanças internacionais que ocorrem no setor, deve avançar rapidamente para a convergência dos mais exigentes padrões internacionais, estabelecendo prazos claros e definitivos para o cumprimento.
- Introduzir, no âmbito dos regulamentos acima mencionados, uma meta de emissão de dióxido de carbono ao nível da frota por fabricante ou importador, com limites crescentes de emissões de GEE e/ou mecanismos do tipo supercrédito.
- As metas e instrumentos devem ser planejados com bastante antecedência e discussão para serem a base futura da configuração da indústria automotiva.
- O desincentivo à aquisição do automóvel de combustão interna deverá ser concretizado através do aumento dos impostos tanto sobre a sua aquisição como sobre a sua utilização, incluindo os impostos sobre o combustível.
- Complementar os objetivos de penetração de veículos elétricos com incentivos para a aquisição ou substituição de veículos a combustão mais antigos, incluindo isenção de impostos internos e maiores valores na dedução do Imposto sobre Mercadorias e Serviços (ICMS) e do Imposto de Renda.
- Estabelecer medidas que reduzam o tráfego de veículos convencionais, restringindo sua circulação, especialmente nos centros urbanos, promovendo o carro elétrico concedendo benefícios no estacionamento na via pública, ou promovendo esquemas de mobilidade alternativos aos veículos, como bicicletas e transporte público.
- Incentivar a eletrificação de todos os transportes públicos urbanos. A primeira medida é concluir a eletrificação dos ônibus movidos a Diesel.
- Desenvolver infra-estrutura de recarga em áreas urbanas de forma coordenada entre os setores público e privado para cobrir progressivamente de forma eficiente e completa a disponibilidade suficiente de pontos de recarga.
- É necessário estabelecer um marco regulatório específico para essa nova realidade, estabelecendo claramente os papéis entre distribuidoras de energia elétrica, agentes de recarga e usuários que estimulem o investimento privado na infraestrutura de recarga.



## Recomendações destinadas a reduzir as emissões no setor agrícola

- 16** Promover a redução das emissões do setor agrícola.
- Criar um programa de incentivos econômicos para o desenvolvimento, promoção e implantação de máquinas agrícolas elétricas.
  - Promover boas práticas como a promoção de rotações de culturas equilibradas.
  - Promover o uso de fixadores biológicos livres e simbióticos de nitrogênio atmosférico em culturas e pastagens associadas.
  - Prevenir a queima da cana-de-açúcar por meio do aproveitamento da colheita integral da cana verde e aproveitar o potencial de cogeração de energia utilizando resíduos de colheita (RAC) e moagem (bagaço) da cana.
  - Promover a incorporação de geração renovável distribuída que permita a expansão da irrigação e, assim, melhorar a produtividade das lavouras, permitirá aumentar a produção e a fronteira agrícola sem aumentar as emissões



## Recomendações sobre setores não energéticos

- 17** Promover a redução das emissões dos setores de pecuária, silvicultura e outros usos da terra.
- Desenvolver boas práticas no desenvolvimento e gestão da pecuária.
  - Zerar as emissões causadas pelo uso impróprio e irresponsável da terra.
  - Definir um plano para incentivar e desenvolver a gestão eficiente e consciente de pastagens, culturas e pecuária, e promover a restauração da terra.
- 18** Promover a redução das emissões do setor de resíduos e promover a economia circular em todos os setores como um acelerador transversal.



## Recomendações sobre instrumentos econômicos e políticas de precificação de carbono

- 19 Introduzir um regulamento específico para desenvolver um sinal de preço efetivo para o custo das emissões.
- A recomendação internacional é avançar na incorporação de sinais de preços para estimular a transição energética, embora se reconheça que cada país deve adotar sua própria política, sem que haja um critério de homogeneização.
  - A introdução de sinais de preços efetivos no país deve ser feita com atenção aos avanços internacionais e nos setores com maior probabilidade de estarem sujeitos ao mesmo preço nos mercados de exportação.
  - Promover o mercado regulado (ou de compliance) de carbono, começando com as indústrias ou setores mais intensivos em carbono. O objetivo é internalizar no país os recursos que de outra forma seriam capturados pelos consumidores nos países importadores.



## Introdução do hidrogênio verde como vetor de descarbonização dos segmentos denominados “difíceis de descarbonizar”

- 20 Avançar na regulamentação e promoção do desenvolvimento do hidrogênio verde para acelerar a transição energética.



# A luta contra as alterações climáticas

## Reduzir as emissões é um desafio global

### Análise de contexto

Em 2015 e antecipando as negociações multilaterais que iriam ocorrer, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) afirmou que a influência humana no sistema climático é clara, e as recentes emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) são os maiores da história.<sup>6</sup> As concentrações na atmosfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são inéditas, sendo a causa dominante da aceleração do aquecimento global desde 1950.

As consequências dessa conclusão são variadas: além do aquecimento da atmosfera e do oceano, os volumes de neve e gelo diminuíram, o nível do mar subiu, as ondas de calor extremo e o número de eventos de precipitação intensa aumentaram e se generalizaram, aumentando o número de secas, inundações, ciclones e incêndios florestais. A sucessão de eventos climáticos extremos demonstra a vulnerabilidade humana às consequências das mudanças climáticas. Na ausência de uma ação global urgente, os efeitos futuros terão impactos sérios, generalizados e irreversíveis sobre as pessoas e ecossistemas em todo o mundo, exigindo reduções substanciais nas emissões de GEE para limitar os danos das mudanças climáticas.

**“Acima de 2°C de aquecimento, há um alto risco de mudanças climáticas irreversíveis”**

A redução das emissões só é possível se houver uma mudança nos padrões de consumo de energia, bem como nas técnicas de produção em geral e, especificamente, de forma sustentável quando se trata de uso do solo. Isso implica na redução do uso de combustíveis fósseis, como carvão, derivados de petróleo e

gás natural - as principais fontes de energia atuais - por serem os principais causadores das emissões de GEE. Mudar os modos de produção e consumo de energia é o primeiro passo. Também devem ser direcionados esforços nas emissões de certos processos industriais, como produção de cimento ou emissões de metano na cadeia de valor do gás natural e processos naturais associados à silvicultura e outros usos da terra.

Os efeitos das mudanças climáticas dependem das emissões acumuladas de GEE. A comunidade científica estima que o limite de emissões acumuladas na atmosfera além do qual existe um alto risco de mudança climática irreversível é de 3 GtCO<sub>2</sub><sup>7</sup> equivalentes, tendo sido emitidos aproximadamente dois terços desse limite. Este valor é compatível com o aquecimento global abaixo de 2°C acima das temperaturas pré-industriais. Somente cortando drasticamente as emissões de GEE nas próximas décadas, para valores abaixo de 530 GtCO<sub>2</sub><sup>8</sup> equivalentes por ano, os riscos das mudanças climáticas podem ser substancialmente reduzidos, limitando o aquecimento na segunda metade do século XXI.

As trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C sem overshoot (superação temporária de um nível específico de aquecimento global) ou com overshoot limitado exigiriam transições rápidas e de longo alcance em energia, terra, infraestrutura urbana (incluindo transporte e edifícios) e sistemas industriais (alta confiança). Essas transições de sistema são inéditas em termos de escala, mas não necessariamente em termos de velocidade, e implicam em profundas reduções de emissões em todos os setores, um amplo portfólio de opções de mitigação e um aumento significativo do investimento nessas opções.

Em sistemas de energia, trajetórias de modelagem global (consideradas na literatura) limitando o aquecimento global a 1,5°C sem overshoot<sup>9</sup> ou com overshoot limitado<sup>10</sup>, geralmente atendem a demanda por serviço de energia com menor intensidade energética, inclusive por meio da melhoria da eficiência energética, e mostraram uma eletrificação mais

6 Veja a Figura 1

7 IPCC, 2014: Mudanças Climáticas 2014: Relatório de Síntese

8 Veja a Figura 2

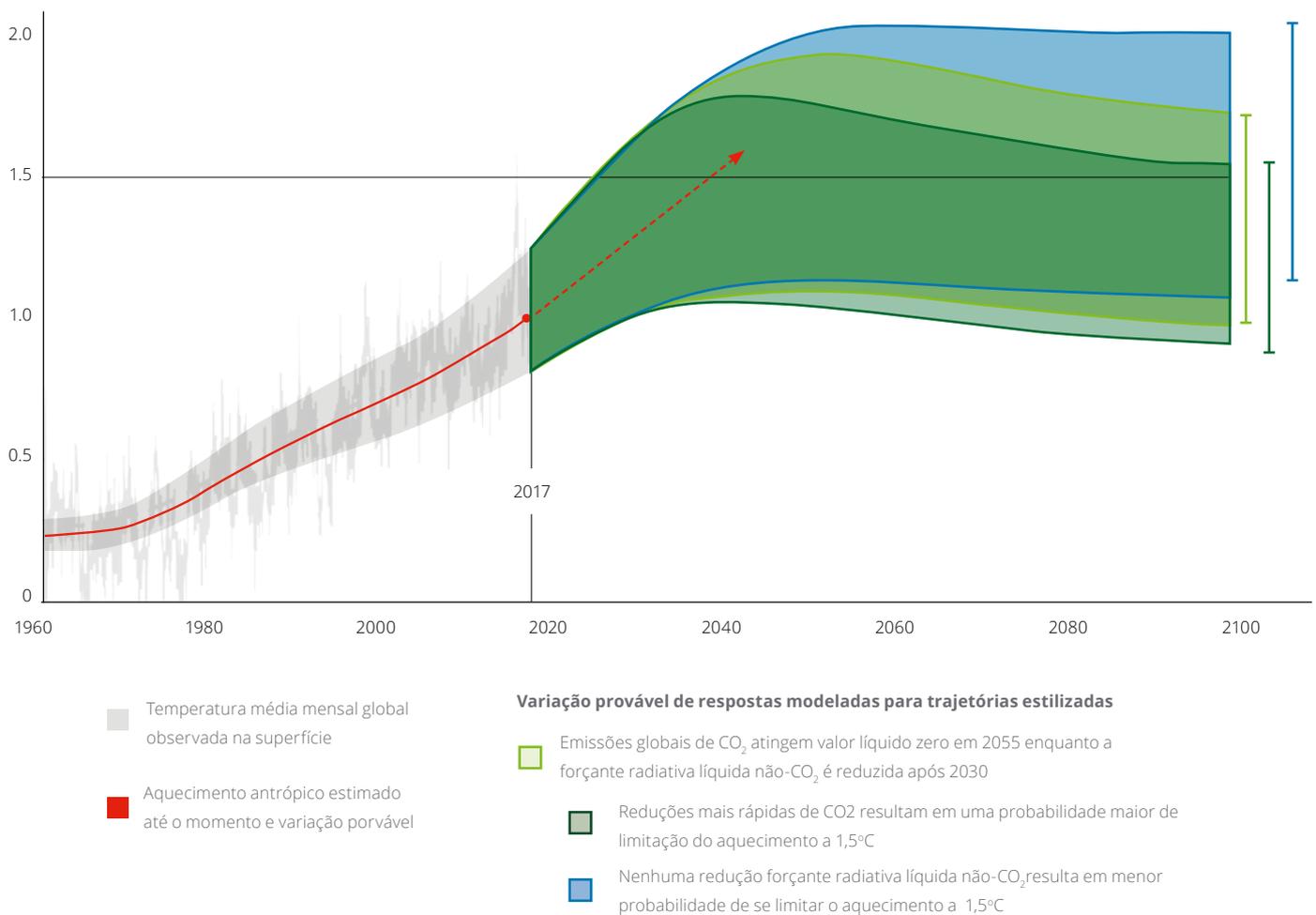
9 Trajetórias que, com base no conhecimento atual, têm pelo menos 50% de probabilidade de manter o aquecimento global abaixo de 1,5°C.

10 Manter o aquecimento abaixo de 1,6°C e retornar a 1,5°C até o ano 2100.

rápida de uso final de energia em comparação com 2°C (alta confiança). Nas previsões de 1,5°C sem overshoot ou com overshoot limitado, projeta-se que fontes de energia de baixa emissão tenham uma participação maior, em comparação com as previsões de 2°C, principalmente antes de 2050 (alta confiança). Sob as previsões de 1,5°C sem overshoot ou com overshoot limitado, as fontes renováveis são projetadas para fornecer 70-85% (intervalo interquartil) de eletricidade em 2050 (alta confiança). Na geração de eletricidade, na maioria dos casos de 1,5°C, sem overshoot ou com overshoot limitado, aumenta a participação de energia nuclear e combustíveis fósseis com captura e armazenamento de dióxido de carbono (CCS). Trajetórias modeladas de 1,5°C sem overshoot ou

com overshoot limitado, ou uso de CCS permitiriam uma parcela da geração de eletricidade a partir de gás fóssil de aproximadamente 8% (intervalo interquartil 3–11%) da eletricidade global produzida até 2050, o uso de eletricidade mostrará uma redução acentuada em todas as trajetórias e seria reduzida para cerca de 0% (0–2%) na geração elétrica (alta confiança). Começa por reconhecer os desafios, as diferenças entre as opções e as circunstâncias nacionais, a viabilidade política, econômica, social e técnica das tecnologias de energia solar, eólica e de armazenamento de eletricidade. Essas melhorias sinalizam uma possível transição do sistema para a geração de energia elétrica.

**Figura 1. Aquecimento Global referente a 1850-1900 (°C)**

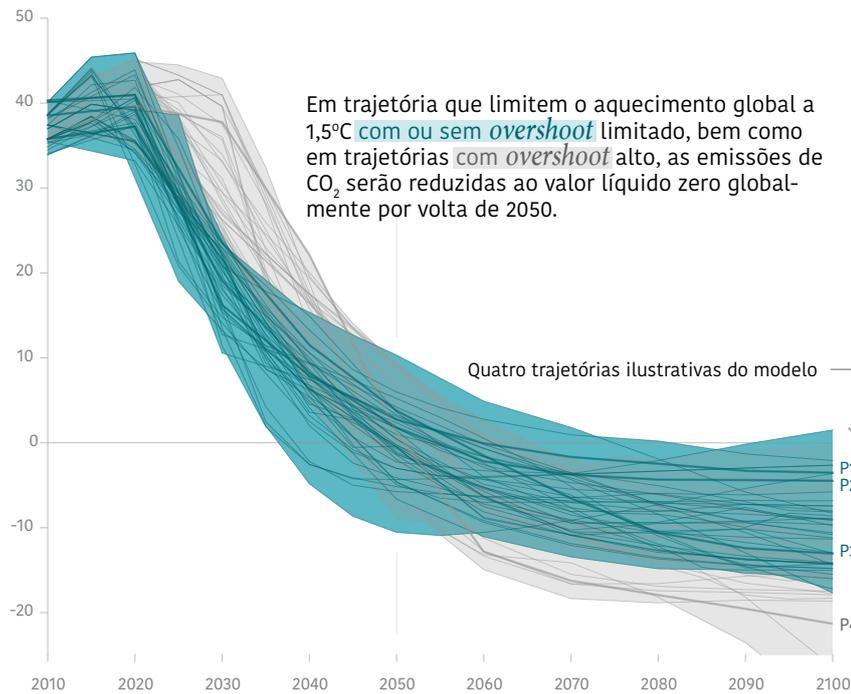


Fonte: Aquecimento Global de 1,5°C - Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza.

**Figura 2: Características das trajetórias de emissões globais**

### Total Global de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>

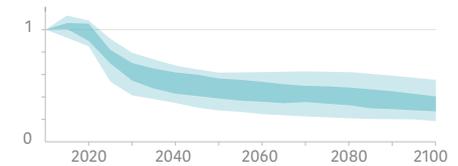
Bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano



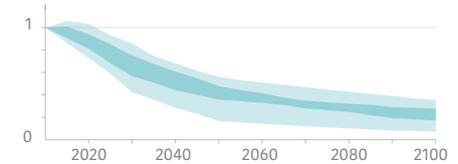
### Emissões não-CO<sub>2</sub> em relação a 2010

Emissões de forçantes não-CO<sub>2</sub> também são reduzidas ou limitadas em trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C com ou sem overshoot, mas não atingem zero globalmente.

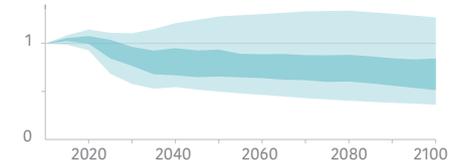
#### Emissões de metano



#### Emissões de carbono negro



#### Emissões de óxido nítrico



Momento do valor líquido zero de CO<sub>2</sub> As larguras das linhas representam o percentil 5-95 e o percentil 25-75 de cenários

— Trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C com ou sem overshoot limitado  
— Trajetórias com overshoot alto  
— Trajetórias que limitam o aquecimento global abaixo de 2°C (não demonstradas acima)

Fonte: Aquecimento Global de 1,5°C - Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza.

## Em busca de um objetivo mais ambicioso

Para informar os governos, a reunião de Paris convidou o IPCC a fornecer um Relatório Especial sobre 1,5°C em 2018 para avaliar as implicações da meta e como ela poderia ser alcançada. O Relatório Especial 1,5°C avalia três questões principais:

- O que seria necessário para limitar o aquecimento a 1,5°C (vias de mitigação).
- Os impactos de 1,5°C de aquecimento, em comparação com 2°C e mais.
- Fortalecimento da resposta global às mudanças climáticas; Opções de mitigação e adaptação.

Conforme mencionado acima, por meio de suas “contribuições nacionalmente determinadas” (NDCs), cada país apresenta seus esforços para reduzir as emissões e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Os cientistas costumam usar o termo “compromissos atuais” quando se referem a reduções de emissões nos primeiros NDCs.

Relacionado ao ponto anterior, o relatório do IPCC avalia as vias de desenvolvimento e as vias de emissão de gases de efeito estufa consistentes com 1,5°C em comparação com 2°C, ajudando os formuladores de políticas a determinar se as promessas atuais são consistentes com a meta de temperatura e devem fornecer conhecimento científico relevante para a preparação de sucessivos NDCs.

Para atingir esse objetivo, o Acordo de Paris fornece uma estrutura internacional sem precedentes para a ação climática, ligando as esferas política, econômica, financeira e social. Desta forma, uma nova dinâmica é definida com base em:

- Governança multilateral, que avalia o progresso e monitora o alcance da meta de longo prazo por meio de um sistema robusto de transparência e prestação de contas dos estados.
- Contribuições Nacionais Determinadas (NDCs) de estados especificando suas metas climáticas
- A ação climática de atores não estatais públicos e privados.

Finalmente, o Acordo fornece um mecanismo chave: revisões de progresso (para atrasos globais) a cada cinco anos para garantir que os países que ratificaram o Acordo transformem seu compromisso em ação.

A Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 2022, mais comumente conhecida como COP27, será a 27ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, que acontecerá de 6 a 18 de novembro de 2022 em Sharm El Sheikh, Egito.

A próxima cúpula da COP27 será uma oportunidade para trocar ideias e visões e trabalhar duro para chegar a decisões justas, equilibradas e abrangentes para acelerar a adoção de medidas reais. Acelerar o ritmo da transição energética entre agora e 2030 e negociar um acordo de reparação para os países em desenvolvimento são os grandes desafios que serão considerados na conferência.

Para garantir o sucesso, espera-se que todos os países se comprometam a atingir emissões líquidas zero o mais rápido possível e a fazer novos cortes significativos até 2030, aproveitando a inovação e o compromisso de todos – cidadãos, investidores, empresas, países, cidades e regiões<sup>11</sup>.

## O papel central do financiamento no Acordo de Paris

O financiamento tem sido essencial para alcançar o consenso necessário para a adoção do Acordo de Paris, uma vez que os países em desenvolvimento entenderam que é necessário garantir a disponibilização de recursos financeiros adequados às suas necessidades, o que constitui a contrapartida essencial dos esforços –particularmente de mitigação– que devem ser realizados. Além disso, a inclusão de uma meta referente ao financiamento esclarece a importância que o financiamento climático adquire em termos de viabilidade política do Acordo e a importância crucial que terá na sua efetiva implementação. Além disso, o Acordo reconhece formalmente a importância do financiamento na implementação de ações de mitigação e adaptação.

Em termos de financiamento climático, o Acordo, portanto, define explicitamente as obrigações dos países em questões climáticas e inclui três elementos-chave para isso:

- **Aspecto institucional:** o Green Climate Fund (GCF) e o Global Environment Facility (GEF), entidades responsáveis pela operação do Mecanismo Financeiro da Convenção, também servirão como mecanismo financeiro do Acordo. Essas instituições serão então responsáveis por alocar os recursos financeiros incrementais que são canalizados para o financiamento climático a partir da entrada em vigor do Acordo.
- **Público:** O financiamento público tem um papel crítico, especialmente em ações que visam melhorar a resiliência e a adaptação, e também na medida em que permite

11 COP27: <https://cop27.eg/#/>

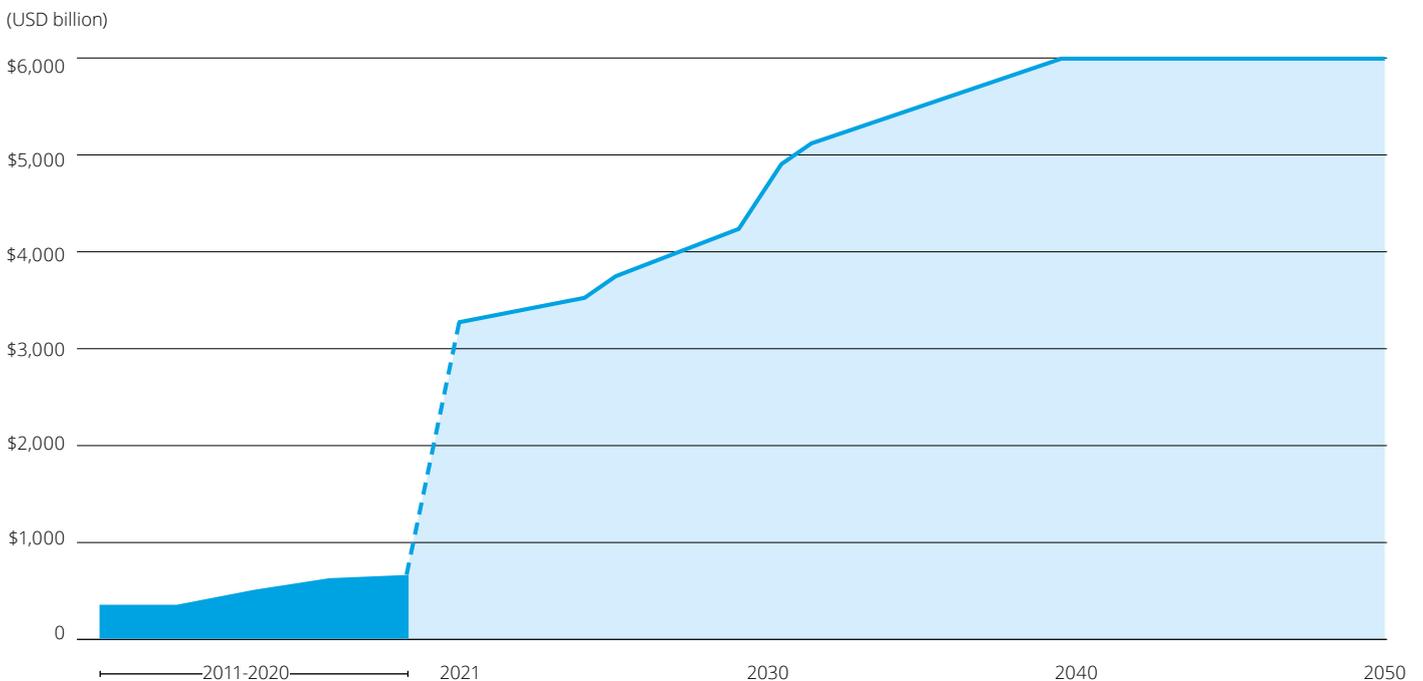
alavancar e mobilizar recursos de outras fontes, em particular fundos do setor privado. Portanto, é importante que o Acordo estabeleça que a provisão de um nível mais alto de recursos financeiros deve buscar um equilíbrio entre adaptação e mitigação, e que as Partes que são países desenvolvidos devem comunicar os níveis projetados de recursos a cada dois anos, recursos financeiros a serem fornecidos às Partes países em desenvolvimento, quando conhecidos, garantindo assim maior previsibilidade dos recursos financeiros que são disponibilizados.

- **Objetivos de financiamento coletivo:** nas decisões é emitido um sinal muito forte nessa questão, pois indicam a necessidade de ampliar o apoio financeiro para garantir a transição para economias de baixo carbono e resilientes ao clima. Além disso, a Conferência das Partes poderá, no futuro, estabelecer metas de contribuição financeira para as Partes, em particular para os países desenvolvidos, atribuição à qual geralmente se opunham.

### Perspectiva Atual sobre Financiamento

Globalmente, o financiamento climático total aumentou de forma constante na última década, atingindo US\$ 632 bilhões em 2019/20, mas os fluxos diminuíram nos últimos anos. Esta é uma tendência preocupante dado que, para atingir os objetivos de curto/médio prazo (2030), é necessário um aumento de pelo menos 590% no financiamento anual do clima, enquanto para os objetivos de longo prazo (2050) que se referem a cumprimento do objetivo de neutralidade de carbono, a diferença entre o financiamento anual atual e o necessário aumenta para 850%.

**Figura 3: Lacunas de financiamento climático**



Fonte: <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/10/Full-report-Global-Landscape-of-Climate-Finance-2021.pdf>

## Acordo de Paris: compromisso assumido pelos países

As conclusões da comunidade científica foram a principal base para que 196 países assinassem o Acordo de Paris em 2015<sup>12</sup> na Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Esses assumiram o compromisso de coordenar esforços para traduzir em ação as recomendações científicas para limitar as emissões, conter o aumento da temperatura da Terra "bem abaixo de 2°C" em relação ao nível pré-industrial e se esforçar para limitá-lo a 1,5°C, bem como alcançar a neutralidade de emissões entre 2050 e 2100.

Embora não seja juridicamente vinculativo, as partes chegaram a um acordo para preparar, comunicar e manter as contribuições nacionais no futuro, implementando medidas para atingir o objetivo global definido. Essas Contribuições Pretendidas Nacionalmente Determinadas devem ser revisadas com metas mais ambiciosas a cada cinco anos, independentemente de seus respectivos prazos de implementação. Por sua vez, de acordo com o artigo 4, parágrafo 19, os países membros são convidados a formular e comunicar para aquele ano uma estratégia de desenvolvimento de longo prazo com baixos níveis de emissões de GEE. Este convite responde ao fato de que as comunicações planejadas e determinadas em nível nacional são insuficientes para cumprir o objetivo do acordo, como mostra o último relatório de gap de emissões para 2021<sup>13</sup> emitido pelas Nações Unidas.

## "Compromisso de conter o aumento da temperatura da Terra 'bem abaixo' de 2°C em relação ao nível pré-industrial"

Há uma lacuna de 15 GtCO<sub>2</sub>eq. entre os níveis de emissão sob a aplicação das NDCs condicionais e aqueles consistentes com as trajetórias de menor custo para atingir a meta de 2°C em 2030. Se apenas as NDCs incondicionais forem aplicadas, a diferença aumenta para 13 GtCO<sub>2</sub>eq. A diferença para atingir a meta de 1,5°C é de 28 GtCO<sub>2</sub>eq. A conclusão é que para fechar a lacuna até 2030 e atingir os objetivos de longo prazo dos países a serem discutidos em 2022, é necessário acelerar as ações de curto prazo e ser mais ambicioso nos objetivos de longo prazo dos países<sup>14</sup>.

Um dos principais benefícios da adoção de uma economia verde é seu potencial para amenizar o impacto ambiental causado pela poluição; um benefício de alcance global e local. À escala global, pode contribuir para o combate ao aquecimento global,

à desertificação e à perda de biodiversidade. A nível local e regional, a transição para uma economia verde pode levar a melhorias significativas na qualidade do ar, da água e do solo.

Além dos aspectos ambientais já mencionados, uma economia verde também tem grande potencial para impulsionar o crescimento econômico. Nessa transição, novos mercados são criados em áreas como biocombustíveis e fontes de energia renovável. E os novos mercados trazem vantagens internacionais com potencial para serem financiados inteiramente por meio de exportações, ou um aumento da atividade empresarial doméstica alimentado por regulamentações ambientais cada vez mais rígidas.

Os países emergentes, em particular, podem se beneficiar de uma mudança para uma economia verde, pois pode oferecer uma oportunidade para criar mais benefícios econômicos e sociais. Por exemplo, ao investir em fontes alternativas de energia, o acesso aos serviços de energia pode ser melhorado e a infraestrutura pode ser mais eficiente. Isso também pode levar à diminuição da importação de energia e potencialmente economizar dinheiro. Também pode melhorar a eficiência dos recursos, pois a produção agrícola se tornará mais limpa e, como resultado de novas técnicas agrícolas sustentáveis, a segurança alimentar será melhorada. Além disso, novas tecnologias emergentes como resultado de uma economia verde ajudarão a proteger e melhorar a produção agrícola.

Investir em uma economia verde e em fontes de energia renovável não apenas levará à criação de novos empregos,<sup>15</sup> mas também a benefícios para a saúde da população e do meio ambiente, além de melhorar a segurança energética a longo prazo.

12 [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

13 <https://www.unep.org/en/resources/emissions-gap-report-2021>

14 <https://www.unep.org/en/resources/emissions-gap-report-2021>

15 [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36991/EGR21\\_ESSP.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36991/EGR21_ESSP.pdf)

### Emissões de GEE no Brasil em 2019

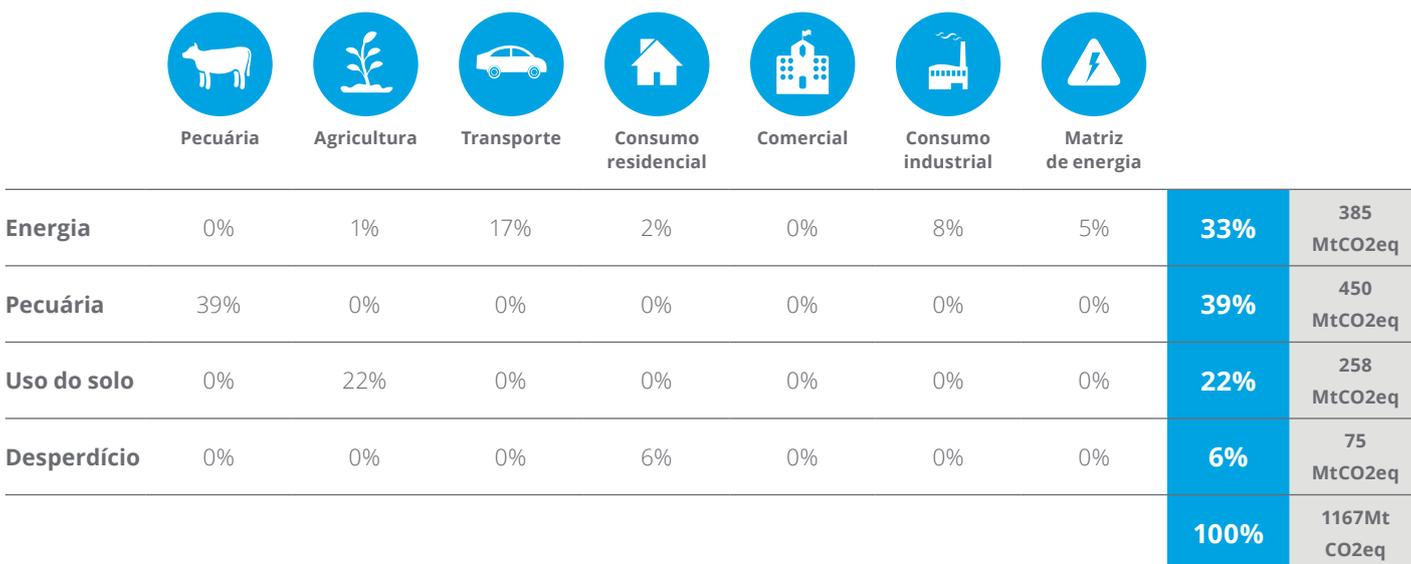
De acordo com as Diretrizes do IPCC, a Instituição Governamental Brasileira ou o Sistema Nacional de Registro de Emissões (SIRENE) como instrumento oficial de disponibilização de resultados de emissões de gases de efeito estufa no país, por meio do Decreto nº 9.172/2017, em declaração de reconhecimento desta importante ferramenta de apoio à elaboração e disponibilização de estimativas nacionais de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Este sistema, reconhecido pelo país como um sistema MRV (medição, relatório e verificação) de emissões, foi desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e lançado em abril de 2016, com o objetivo de conferir durabilidade e acessibilidade dos resultados do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Gases Residuais de Fogões Eficientes não Controlados pelo Protocolo de Montreal.

O inventário de emissões de GEE do Brasil para 2019 ascendeu a 1.602.461 MtCO<sub>2</sub>eq, compreendendo 65% de emissões de CO<sub>2</sub>, 24% CH<sub>4</sub> e 11% N<sub>2</sub>O<sup>16</sup>.

Ao analisar as emissões por setor, observa-se que em 2019 os setores de energia e resíduos representam quase 39% do total de emissões de GEE. As emissões derivadas do uso de energia contribuíram com 33% do total, concentrando-se principalmente na queima de combustíveis utilizados nos transportes, nas indústrias, na agricultura e nas residências, nesta ordem. O setor de resíduos atingiu 6% do total de emissões. Por fim, 61% das emissões totais são compostas pelo setor AFOLU (Agricultura, silvicultura e outros usos do solo), composto principalmente pelo setor USCUSS (Uso do solo, mudança de uso do solo e silvicultura) e pecuária.

O comportamento histórico das emissões desde 2000 mostra uma tendência de queda ao longo do tempo, com uma redução de 279.180 MtCO<sub>2</sub>eq entre pontos<sup>17</sup>, principalmente devido ao menor nível de emissões no setor USCUSS (-46% de redução no nível de emissões).

**Figura 4: Inventário de emissões de GEE distribuído por setor - ano 2019 (% , MtCO<sub>2</sub>eq.)**

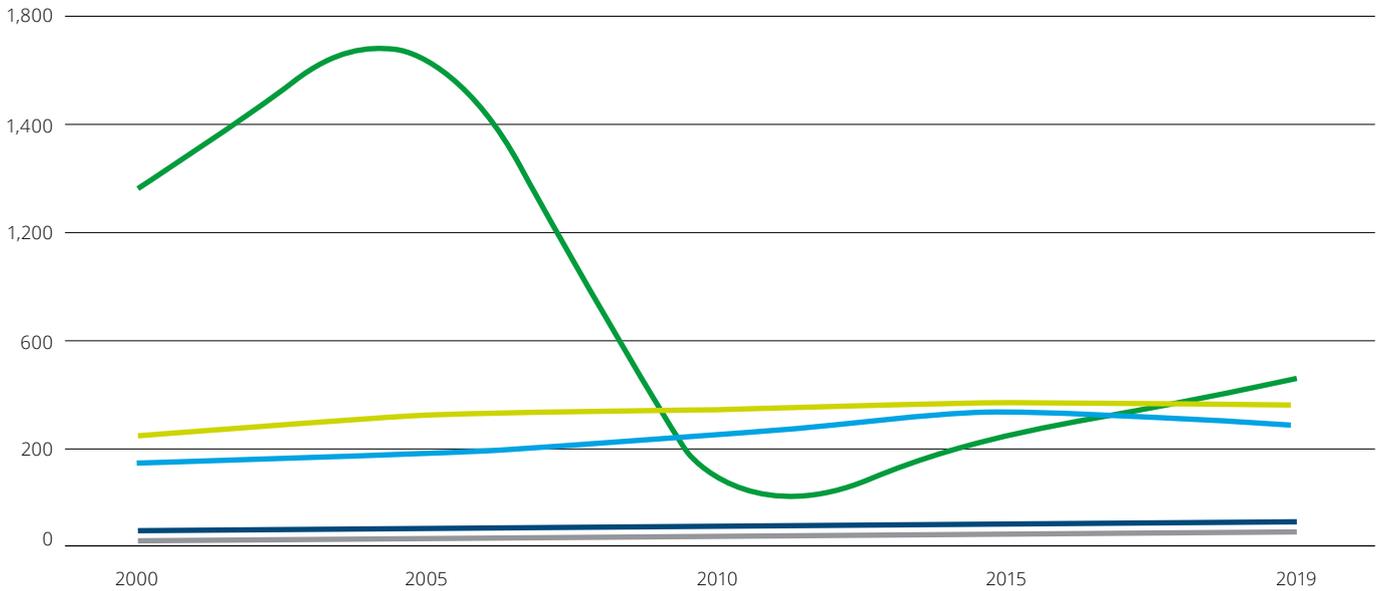


Fonte: Emissões de GEE por Setor – SIRENE - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

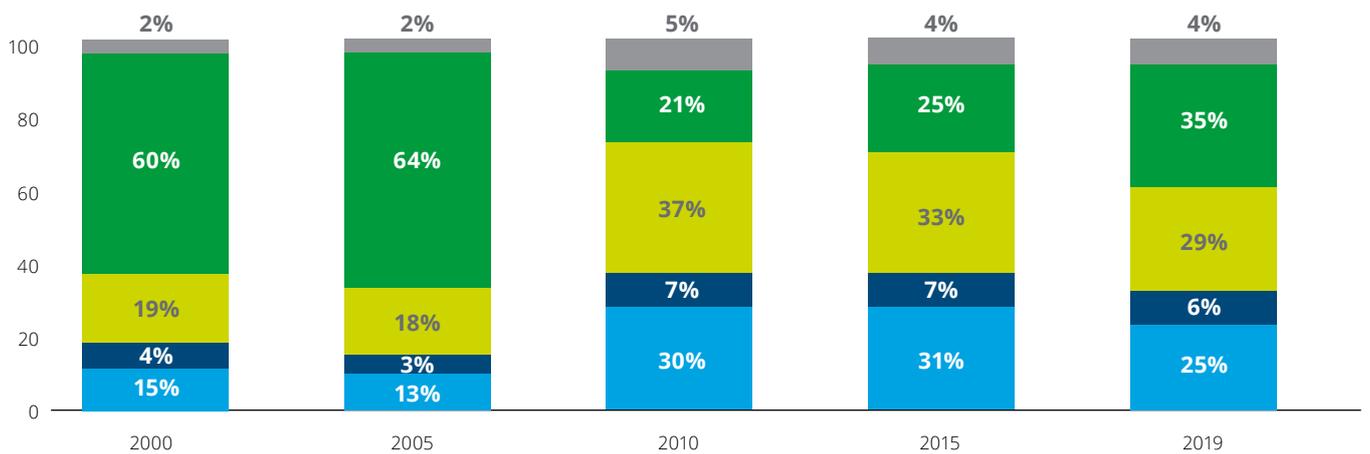
16 <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>

17 Veja a Figura 4.1

**Figura 4.1: Evolução das emissões de GEE por setor - anos 2000-2019 (% , MtCO2eq.)**



**Figura 4.2: Evolução das emissões de GEE por setor - anos 2000-2019 (% , MtCO2eq.)**



**Legenda**

- Energia
- Processos industriais e uso de produtos (IPPU)
- Agropecuária
- Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)
- Resíduos

Fonte: Análise da Deloitte

Por meio de um benchmark da intensidade energética do Brasil em relação a outros países, observa-se que a intensidade energética do Brasil medida em termos per capita é uma das mais baixas em nível global<sup>18</sup>. Isso se reflete no indicador “TOE/capita” para o ano de 2021, que chega a 1,45 TOE por habitante no Brasil. Observa-se também, com relação às emissões necessárias para produzir uma unidade do PIB, que o Brasil está 6% abaixo da média da América Latina.

Da mesma forma, por meio de um benchmark da intensidade das emissões de CO2 derivadas da queima de combustíveis, observa-se que a intensidade das emissões de CO2 no Brasil - considerando o tamanho da economia e, conseqüentemente, o nível de atividade - é 22% menor que a média para os países da América Latina<sup>19</sup>. Cabe esclarecer que esta afirmação apenas se enquadra nas emissões derivadas da queima de combustíveis, ou seja, aquelas que correspondem ao setor energético e não sobre as emissões totais, que não são contrastadas por falta de dados homogêneos para comparação. Por outro lado, quando incorporamos o setor não energético à análise, constatamos que a intensidade das emissões de CO2 no Brasil - considerando a população total (tCO2eq. per capita) - está entre as mais altas do mundo, 156% per capita .acima da intensidade média de emissões per capita na América Latina.

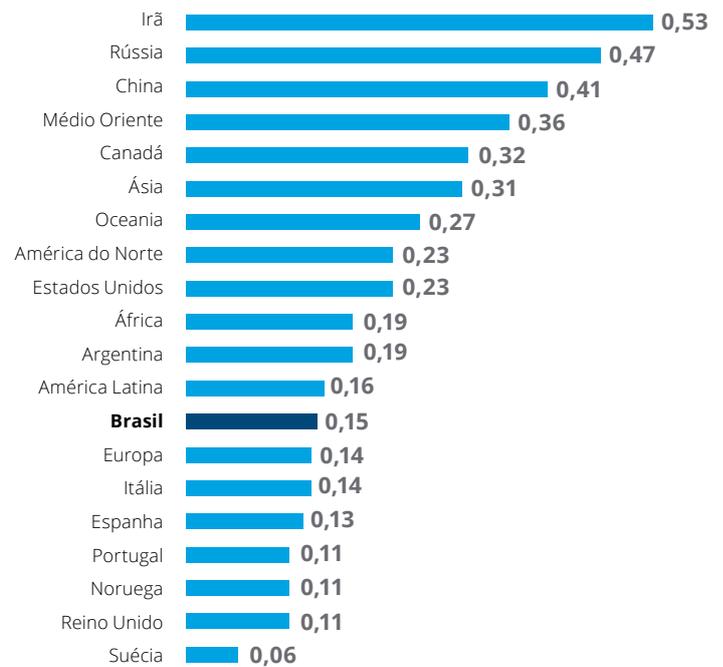
### Contribuições nacionais na luta contra as mudanças climáticas

#### Contribuições assumidas pelo Brasil - NDC

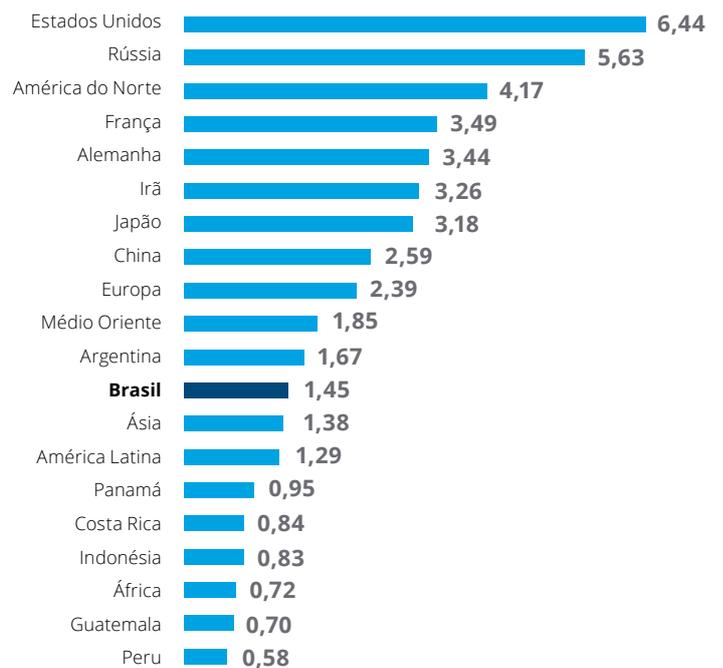
A primeira NDC apresentada pelo governo brasileiro, ratificado em 2016, precedeu o objetivo de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030, ambos em relação às emissões de 2005. As metas de quantidade de emissões do Brasil para 2005 foram utilizadas como referência para as metas de acordo com o Segundo Inventário Nacional, preparado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). A fim de apresentar uma nova NDC em Dezembro de 2020, o governo brasileiro assumiu como meta as mesmas taxas previstas na primeira NDC.

**Figura 5: Emissões necessárias por unidade de PIB e intensidade per capita - ano 2021**

(kCO2/\$15p)



(toe/capita)

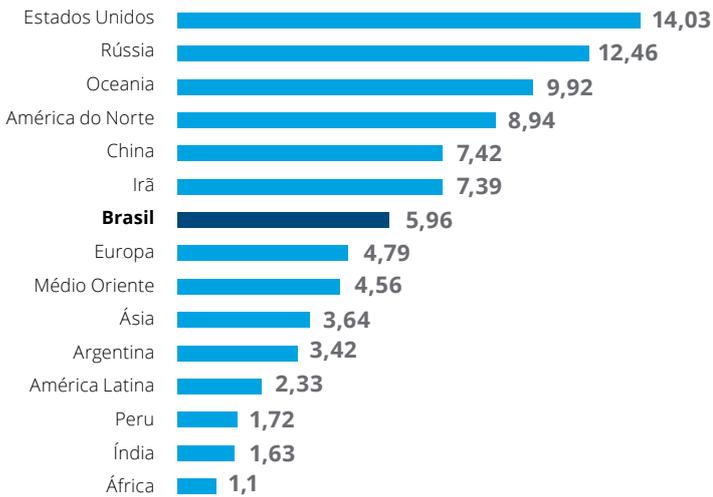


18 Veja a Figura 5

19 Veja a Figura 6

**Figura 6: Indicadores de intensidade das emissões de CO2 provenientes da queima de combustíveis - ano 2021**

(kCO2/\$15p)



Assim, na primeira das novas NDC apresentados em 2020, foi atualizada a contabilidade dos gases com efeito de estufa que o Brasil emitiu em 2005 com a publicação do Terceiro Inventário Nacional. Este inventário melhorou a metodologia de cálculo das emissões, o que era natural de incorporar no processo científico, ou que não levou a um aumento na contabilização das emissões nesse ano. O segundo inventário para 2005 foi de 2,1 mil milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO<sub>2</sub>e), e o terceiro inventário não aumentou para 2,8 GtCO<sub>2</sub>e.

A partir da nova NDC 2022, o Brasil confirma o seu compromisso de reduzir em 37% as suas emissões de gases com efeito de estufa em 2025, em comparação com 2005. Além disso, o Brasil compromete-se a reduzir as suas emissões em 50% em 2030, em comparação com 2005. Os compromissos do Brasil incluem também um objetivo a longo prazo para alcançar a neutralidade climática até 2050.

Análise Deloitte com base em ENERDATA 2021

## Estratégias Nacionais de Combate às Mudanças Climáticas

O Brasil publicou regulamentações e documentos de planeamento que definem a agenda para a gestão das mudanças climáticas no país. Os mais relevantes para o caso específico da gestão das mudanças climáticas são:

- Plano Decenal de Energia – PDE 2031
- Plano Nacional de Energia – PNE 2050
- Programa de Expansão de Transmissão / Plano de Expansão de Longo Prazo
- Contribuição Nacionalmente Determinada – 2020 e 2022
- Atlas de Eficiência Energética Brasil 2021
- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)
- Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET)
- Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)
- Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL) - elevado da Lei 9.991/2.000
- Lei de Eficiência Energética (10.295/2.001)
- Instrução Normativa SLTI nº 02/2014/MPOG
- Portaria Interministerial nº 1007/2010

O relatório final do PNE 2050 é uma versão consolidada e orienta dois estudos de longo prazo que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vem realizando, sob as diretrizes gerais do Ministério de Minas e Energia (MME), nos últimos dois anos. Ou seja, além deste relatório, a fase de Desenho da Estratégia PNE 2050 inclui uma série de estudos de longo prazo e discussões com a sociedade que contextualizam a perspectiva para a construção da estratégia do planejador de longo prazo.

## Os principais resultados do PNE 2050 podem ser resumidos nos seguintes pontos<sup>20</sup>:

- 1** Tendência de maior diversificação da matriz energética brasileira, com a perspectiva de 4 fontes energéticas (petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural) responderá por 75% da oferta interna de energia em 2030.
- 2** Tendência de manutenção da participação de fontes renováveis na matriz energética em torno de 45% em 2030, (quando a média mundial era de 14% na época).
- 3** Embora com a expectativa de maior consumo de energia per capita, a perspectiva de permanência na intensidade energética foi considerada no horizonte do estudo. As emissões por unidade de energia consumida aumentariam 6,5% em 2030 em relação aos valores de 2005.
- 4** Tendência da eletricidade na matriz energética, resultado do maior crescimento relativo do setor de serviços na economia, do aumento da participação da indústria de transformação e da maior posse de equipamentos elétricos pela população.
- 5** A importação de energia estaria concentrada não na extração mineral para a siderurgia, nem no gás natural (gasodutos e GNL) no terreno paraguaio da usina de Itaipu.
- 6** Em relação à energia elétrica, a expectativa era de que o consumo total crescesse para um patamar entre 850 e 1.250 TWh em 2030, dependendo do cenário macroeconômico. A estratégia de atendimento da demanda levou à execução de um programa de ações e iniciativas na área de eficiência energética que geraria a conservação de 53 TWh em 2030. Do lado da oferta, a energia hidráulica continuaria a representar cerca de 70%, em relação à geração termelétrica convencional (nuclear, gás natural e carvão mineral) ampliando sua participação de 7% para cerca de 15%. As fontes renováveis não hidráulicas (biomassa de cana, usinas eólicas e resíduos urbanos) também apresentam crescimento expressivo, respondendo por mais de 4% da oferta interna de energia elétrica.
- 7** Em relação à produção de petróleo, estima-se que a produção de petróleo atingiria Patamar de 3 mil barris por dia em 2030. A produção de derivados de petróleo 3,7 mil barris por dia, devido à expansão da capacidade de refino projetada. Em especial, esperava-se saldo superavitário no caso do óleo diesel, devido à expansão do refino concentrado em derivados médios e leves, além da ampliação da oferta de biodiesel. Em suma, esperava-se que o petróleo e seus derivados representassem cerca de 30% da matriz energética nacional em 2030.
- 8** Em relação ao gás natural, esperava-se que a produção líquida chegasse a 180 mil m<sup>3</sup> por dia em 2030, havendo necessidade de importação de 70 mil m<sup>3</sup> por dia, para atender o consumo total projetado. Com isso, a participação do gás natural na matriz energética brasileira chegaria a 15%.
- 9** A competitividade da cana-de-açúcar para fins energéticos justificaria uma expansão significativa da produção de etanol que atingiria cerca de 66 bilhões de litros em 2030. O uso do etanol reduziria a demanda por gasolina, aliviando as pressões sobre o meio ambiente e ampliando o refino de derivados de petróleo. O canal e seus derivados alcançariam uma participação de 18,5% na matriz energética brasileira.
- 10** Em relação aos demais biocombustíveis, espera-se que o H-Bio atinja 10% do mercado de diesel em 2030, enquanto o Biodiesel atingirá uma mistura de B12 em 2030, enquanto nenhum setor agrícola poderá atingir o B60 em 2030.

20 Fonte: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>

## Políticas em Vigor para o Setor Energético

Não há políticas específicas para a transição energética no Brasil, mas há uma série de políticas que afetam e favorecem a transição energética. Nesse sentido, as seguintes políticas e instrumentos associados ao tema da transição energética têm implicações para a expansão do setor energético.

### Política Nacional de Mudanças Climáticas – PNMC, Lei 12.187 de 2009

Define o compromisso nacional voluntário de reduzir de 36,1% para 38,9% as emissões projetadas até 2020. O decreto 7.390/10, que regulamenta o PNMC, instituiu o PDE como plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas do setor energético.

### Contribuição Determinada Nacionalmente – NDC

A partir da nova NDC 2022, o Brasil confirma o seu compromisso de reduzir em 37% as suas emissões de gases com efeito de estufa em 2025, em comparação com 2005. Além disso, o Brasil compromete-se a reduzir as suas emissões em 50% em 2030, em comparação com 2005. Os compromissos do Brasil incluem também um objetivo a longo prazo para alcançar a neutralidade climática até 2050.

### Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio, Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017

Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Busca aumentar a produção e participação de dois biocombustíveis na matriz de combustíveis do Brasil, colaborar com previsibilidade para a participação competitiva de dois biocombustíveis diferentes no mercado nacional de combustíveis e cooperar para o cumprimento dos compromissos do Brasil na área de o Acordo de Paris no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Até 2021, a resolução estabeleceu uma meta obrigatória de 24,86 milhões de unidades CBIO. Até 2022, a meta é de 35,98 milhões de unidades CBIO emitidas por produtores ou importadores de combustível. A resolução também estabelece faixas de tolerância, com os limites mínimo e máximo das metas, que se tornam válidas a partir de 2023. A meta é de 42,35 milhões de unidades CBIO, com uma faixa inferior de 33,85 e uma faixa superior de 50,85. As reduções continuarão a aumentar até 2031, o último ano desta atualização da RenovaBio, atingindo a meta planejada de 95,67 milhões de unidades CBIO, com um limite inferior de 87,17 e um limite superior de 104,17.

### Novo Mercado de Gás, Decreto nº 9.616/2018 (que altera o Decreto nº 7.382/2010), Resolução CNPE nº 16/2019, Termo de Compromisso de Cessação – TCC Petrobras-CADE, Ajuste SINIEF/CONFAZ nº 03/2018, Decreto nº 9.934/2019

Estes instrumentos no detalhamento regulatório da ANP e das agências reguladoras estaduais para a concretização do Programa Novo Mercado de Gás, que visa estabelecer um mercado de gás natural mais aberto, diversificado, competitivo e eficiente para promover investimentos na expansão da infraestrutura e aumento do uso de gás natural no Brasil.

### Modernização do Setor Elétrico, Consulta Pública nº 33/2017 (Aprimoramento do Marco legal do Setor Elétrico), Portaria nº 187/2019, PL 414/2021 e PL 1.917/2015

Clamam para aprimorar as propostas que viabilizam a Modernização do Setor Elétrico baseado em pilares de governança, transparência e estabilidade jurídico-regulatória. Em particular, visa ampliar a concorrência, reduzir subsídios e distorções na formação de preços, promover o livre mercado, permitir alocação adequada de custos e riscos, facilitar a incorporação de inovações tecnológicas no setor elétrico, bem como incorporar adequadamente os recursos energéticos distribuídos não sistema elétrico.

### O atual Projeto de Lei 2.148/2015, que em 2022 havia aderido aos seguintes PLs no. 10.073/2018, 5.710/2019, 290/2020 e 528/2021

Este projeto de lei, prevê redução de impostos para produtos adequados à economia verde de baixo carbono.

Também não em nível nacional, um conjunto de políticas, programas, iniciativas e ações também está indiretamente relacionado à questão da transição energética: Programa de Apoio à Reforma e Implantação de Novos Canaviais – PRORENOVA, Programa de Apoio ao Setor Sucroalcooleiro – PASS, Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico – PAISS, Mistura de etanol anidro (Lei nº 8.723/1993; Lei nº 13.033/2014), Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNPB (Lei nº 13.263/2016; Resolução CNPE nº 23/2017), Geração Distribuída (Resoluções Normativas ANEEL 482/2012, 687/2015 e 786/2017 e Lei nº 13.203/2015), Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (Resolução CONAMA nº 18/1986; Lei nº 8.723/1993), Eficiência Energética (Lei nº 9.991/2000, Lei nº 10.295/2001; Decreto nº 4.059/2001; Plano Nacional de Eficiência Energética, Lei nº 13.280/2016), Leilões de renováveis, Rota 2030 (Lei nº 13.755/2018).

## **Principais Instrumentos de Promoção da Eficiência Energética em vigor**

### **Programa Brasileiro de Etiquetagem**

Instituído em 1984 e conduzido pelo INMETRO e PROCEL, estabelece a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) voluntária ou obrigatória. Este instrumento tem como principal objetivo informar o consumidor final, buscando induzir escolhas por produtos mais eficientes.

### **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)**

Instituído em 1985, executado pela Eletrobrás, fora do Programa de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR/PROCEL), os recursos são direcionados para aplicação em projetos que realizam investimentos em estudos, treinamento e programas de eficiência energética.

### **Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET)**

Criado em 1991, tem como principal objetivo incentivar o uso racional de combustíveis em setores como residências, comércio, indústria, transporte e agricultura.

### **Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)**

Indica ações e diretrizes específicas voltadas à promoção da eficiência energética, direcionando políticas públicas voltadas para esse fim nos setores de consumo final (indústria, transporte, setor público, saneamento, etc.) e programas do governo tailandês como o PROCEL e o CONPET.

### **Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL)**

Criado a partir da Lei 9.991/2.000 e conduzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), ou PEE, estabelece a destinação percentual da Receita Operacional Líquida (ROL) das atividades de distribuição de energia elétrica no país, para investimentos em P&D e eficiência energética. Entre esses investimentos, o PEE/ANEEL orienta a aplicação de recursos para as duas classes de maior consumo presentes em cada área de concessão.

### **Lei de Eficiência Energética (10.295/2.001)**

Estabelece índices mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no Brasil e em edificações, a serem realizados com base em regulamentação específica. Esses níveis mínimos de eficiência energética são definidos pelo Comitê de Gestão de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), coordenado pelo MME e formado por representantes de instituições governamentais e da sociedade civil.

### **Instrução Normativa SLTI nº 02/2014/MPOG**

Devolve à Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de eficiência energética (nível A) obrigatória para prédios públicos federais novos e reformados com recursos federais para o exercício de atividade administrativa ou prestação de serviços públicos.

### **Portaria Interministerial nº 1007/2010**

Estabeleceu cronograma para implantação de índices de desempenho energético para lâmpadas incandescentes, visando as proibições do mercado brasileiro.

### **Processo de construção do cenário de referência**

O processo de construção de cenários para a avaliação do modelo energético sustentável para o Brasil em 2050 necessariamente exigiu a elaboração da linha de base para contrastar os resultados e impactos das ações e medidas de mitigação das mudanças climáticas para o sistema em questão. Com base nessa premissa, foi simulado o cenário de tendência ou "referência", que se baseia nas informações correspondentes ao ano de 2019 em relação à matriz produtiva, energética e de emissões (conciliando as informações do balanço energético nacional daquele ano com o inventário nacional de gases de efeito estufa - reportado pelo Sistema Nacional de Registro de Emissões (SIRENE)-), com a inclusão de dados históricos para o período 2019-2021 (em termos de indicadores macroeconômicos, impacto da covid -19, mudanças na matriz energética e nos padrões de consumo) e depois, seguindo a tendência em termos de evolução tecnológica até 2050. Como resultado da projeção no cenário de tendência ou "referência", obteve-se que as emissões totais de GEE atingiriam um valor próximo a 2.326,55 MtCO<sub>2</sub>eq até 2030 e 2.439,11 MtCO<sub>2</sub>eq até 2050.

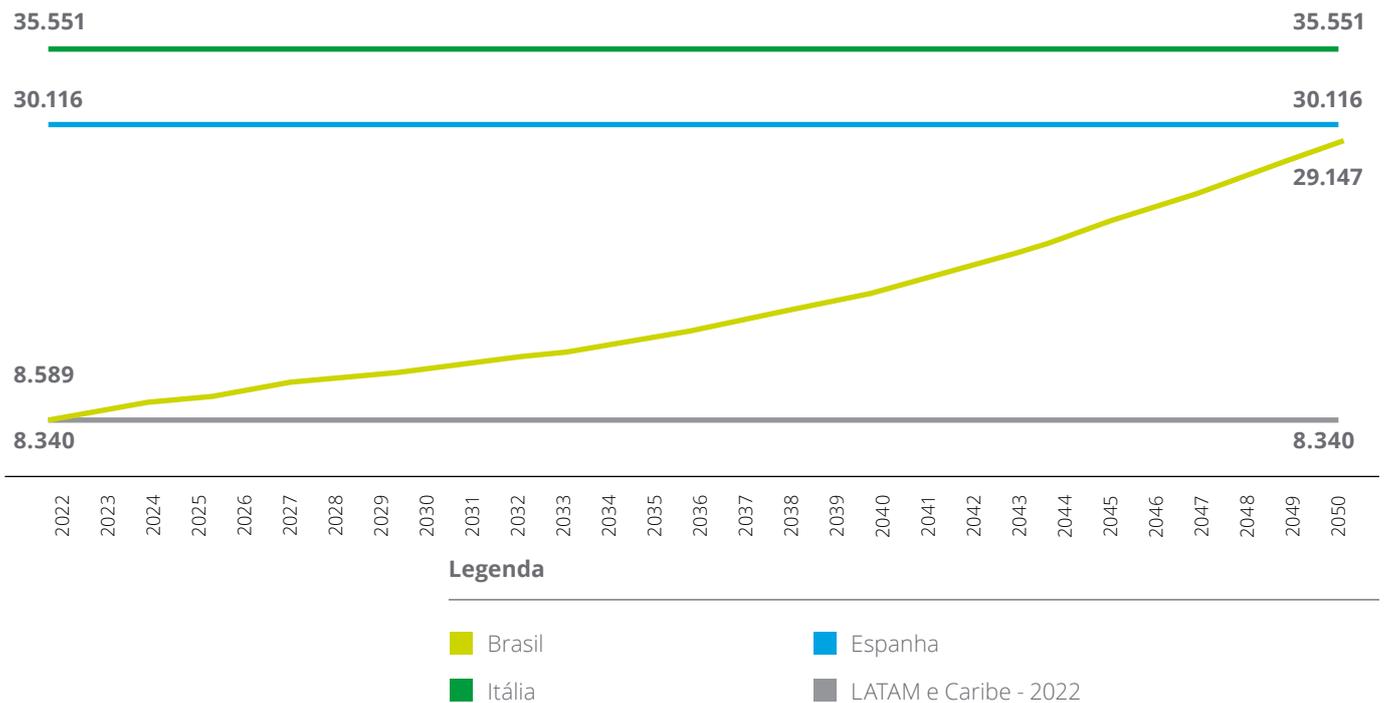
O tamanho da economia resultante dessa projeção para 2050 permitiria alcançar uma renda per capita para o Brasil superior à atualmente recebida pela América Latina e Caribe e inferior à recebida por países desenvolvidos como Espanha e Itália<sup>21</sup>.

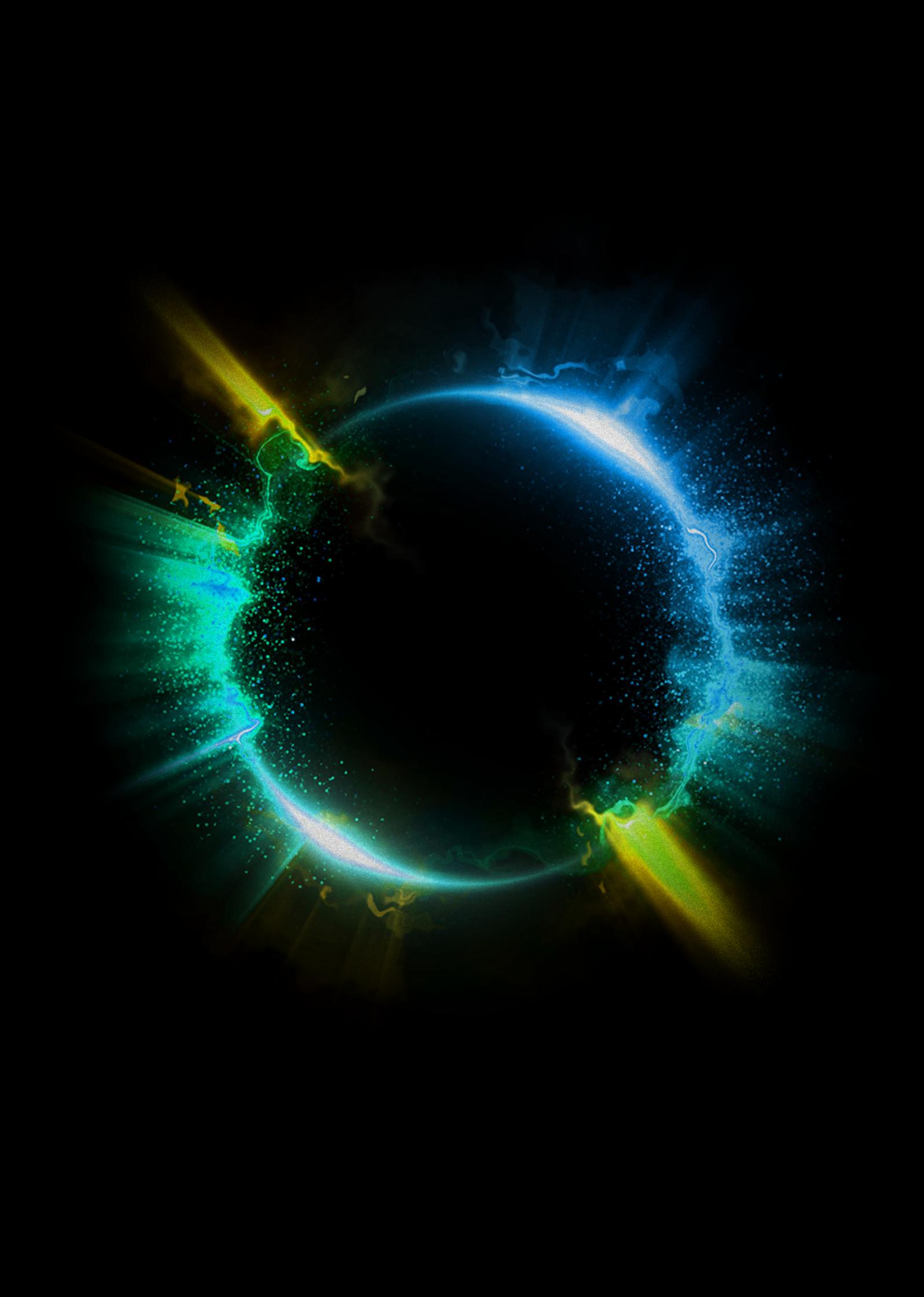
21 Veja a Figura 8



Fonte: Enel

**Figura 7: PIB per capita - anos 2022-2050 (milhões de USD)**





# Modelo energético brasileiro até 2050

## Visão atual do Brasil para 2050

O objetivo deste estudo é desenvolver um cenário de transição para 2050 para uma economia de baixas emissões, levando em consideração as condições iniciais no Brasil, os planos de mitigação desenvolvidos pelas autoridades, as tecnologias disponíveis ou que se espera que estejam disponíveis durante o período. estudo e as medidas regulatórias necessárias para a realização dos cenários.

## “Existem três vetores de descarbonização necessários para atingir metas mais ambiciosas até 2050”

Com base na multiplicidade de opções de mitigação disponíveis, e não menos importante, na inter-relação entre elas, estas foram divididas em três vetores de descarbonização que são necessários para atingir metas mais ambiciosas até 2050. No entanto, foram consideradas apenas medidas de mitigação baseada em tecnologias que, com as informações atuais, é razoável supor que atingem a maturidade e são comercialmente viáveis. Os três vetores mencionados acima são:

- **Mudar para fontes de energia primária essencialmente renovável, visando uma matriz elétrica verde:** Para que a substituição de fontes primárias tenha efeito duradouro, é necessário que a eletricidade seja produzida por meio de fontes renováveis. Atrelado a isso, o desenvolvimento de infraestruturas digitais e redes inteligentes é fundamental como agentes capacitadores capazes de acomodar a introdução de energias renováveis, tecnologias distribuídas e a participação de prosumidores no sistema energético.
- **Promover a eficiência energética e a eletrificação dos usos finais por meio da digitalização da rede:** Há um grande potencial para reduzir as emissões, dissociando o crescimento econômico do consumo de energia. As oportunidades de redução da intensidade energética na produção de bens, o potencial de economia de energia no consumo residencial e no setor de serviços, bem como a eficiência dos processos de transformação que aumentam a energia utilizada e minimizam os desperdícios. Por sua vez,

espera-se uma mudança para fontes de energia primária com emissões mais baixas, através da substituição de carvão e petróleo com altos níveis de emissão por combustíveis de baixa emissão. Além disso, a modernização da infraestrutura e a digitalização são fundamentais para sustentar a transição para um modelo de energia sustentável de baixo carbono. O aumento da procura de eletricidade deverá conduzir a uma mudança de paradigma de um sistema tradicional para um sistema completamente flexível que se adapte ao aumento das energias renováveis e à geração descentralizada.

- **Incentivo a modelos de produção sustentáveis:** Na indústria e principalmente na pecuária, agricultura e florestas, é necessário adotar métodos de produção sustentáveis que permitam reduzir o nível de emissões de gases de efeito estufa.

## O modelo energético no quadro dos ODS

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável com seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), aprovada em setembro de 2015 pela Assembleia Geral das Nações Unidas, estabelece uma visão transformadora para a sustentabilidade econômica, social e ambiental dos 193 Estados membros, aos quais o Brasil pertence. Especificamente, no ODS 7 “energia acessível e não poluente” determina que a energia sustentável é uma oportunidade que transforma vidas, a economia e o planeta.

No Brasil, a falta de acesso ao fornecimento de energia em algumas regiões é um obstáculo ao desenvolvimento humano e econômico; Por esta razão, se as famílias não tivessem acesso à eletricidade, haveria um grande atraso em termos de desenvolvimento.

Tomando as considerações indicadas no ODS 7, a energia pode ser gerada de diversas formas, mas é aconselhável utilizar recursos renováveis de forma responsável e consciente, para produzir impactos nas mudanças climáticas, pois se a energia é gerada através da queima de combustíveis com alto teor de carbono, são produzidas grandes quantidades de gases de efeito estufa (GEE), que favorecem as mudanças climáticas e têm efeitos nocivos ao bem-estar da população e do meio ambiente.

Figura 8: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - PNUD



## Introdução à metodologia de modelagem: TIMES

TIMES é uma ferramenta de modelagem que combina duas abordagens sistemáticas para modelagem de energia: uma abordagem de engenharia técnica e uma abordagem econômica.

A ferramenta abrange todas as etapas, desde os recursos primários até a cadeia de processos que transformam, transportam, distribuem e convertem energia na oferta de serviços energéticos demandados pelos consumidores de energia. Uma vez estabelecidas todas as entradas, restrições e cenários, o modelo tentará resolver e determinar o sistema energético que atende a demanda por serviços de energia em todo o horizonte de tempo com o menor custo.

Do lado da oferta de energia, o modelo inclui extração de combustível, produção primária e secundária, assim como importação e exportação exógena. Os "agentes" do lado da oferta de energia são os "produtores". Por meio de diversos transportadores de energia, a energia é fornecida pelo lado da demanda, que se estrutura por meio dos setores residencial, comercial, agrícola, transporte e industrial. Os "agentes" do lado da demanda de energia são os "consumidores". As relações matemáticas, econômicas e de engenharia entre esses "produtores" e "consumidores" de energia são a base dos modelos TIMES.

### Tecnologias

As tecnologias são representações de dispositivos físicos que transformam mercadorias em outras mercadorias. Os processos podem ser fontes primárias de matérias-primas ou atividades de transformação, como usinas de conversão que produzem eletricidade, usinas de processamento de energia, como refinarias, dispositivos de demanda de uso final, como carros e sistemas de aquecimento, etc.

### Commodities

Commodities (incluindo combustíveis) são portadores de energia, serviços de energia, materiais, fluxos monetários e emissões; uma mercadoria é produzida ou consumida por alguma tecnologia.

### Fluxos de commodities

Os fluxos de commodities são as ligações entre processos e commodities (por exemplo, geração de eletricidade a partir do vento). Um fluxo é da mesma natureza de uma mercadoria, mas está vinculado a um processo específico e representa uma entrada ou saída desse processo.

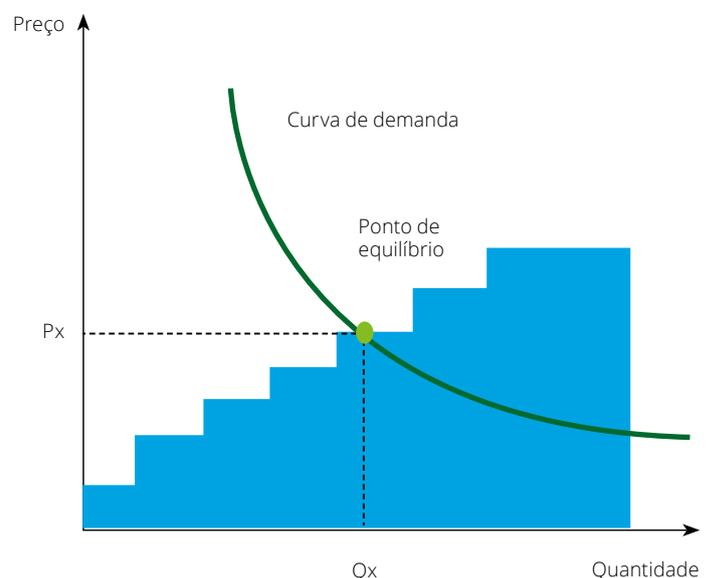
Estas três entidades são utilizadas para construir um sistema energético que caracterize o país ou região em questão. Todos os modelos TIMES possuem um sistema energético de referência, que é um modelo básico do sistema energético antes de ser substancialmente modificado, seja para uma região específica ou para um cenário específico.

## Funcionalidade

Uma vez que todas as entradas, restrições e cenários tenham sido colocados, o modelo tentará resolver e determinar o sistema de energia que atende às demandas de serviços de energia ao longo de todo o horizonte de tempo com o menor custo. Para isso, toma simultaneamente decisões de investimento em equipamentos e decisões de exploração, fornecimento de energia primária e comercialização de energia, por região. O TIMES assume uma previsão perfeita, o que significa que todas as decisões de investimento são tomadas em cada período com pleno conhecimento dos eventos futuros, e otimiza horizontalmente (em todos os setores) e verticalmente (em todos os prazos para os quais o limite é imposto).

Os resultados serão a combinação ideal de tecnologias e combustíveis em cada período, juntamente com as emissões associadas para satisfazer a demanda. O modelo molda a produção e consumo de commodities (ou seja, combustíveis, materiais e serviços de energia) e seus preços; quando o modelo combina oferta com demanda, ou seja, produtores de energia com consumidores de energia, diz-se que está em equilíbrio. Matematicamente, isso significa que o modelo maximiza o excedente do produtor e do consumidor. O modelo é configurado de tal forma que o preço de produção de uma mercadoria afeta a demanda por essa mercadoria, ao mesmo tempo em que a demanda afeta o preço da mercadoria. Diz-se que um mercado está em equilíbrio a preços "p" e quantidades "q" quando nenhum consumidor deseja comprar menos do que "q" e nenhum produtor deseja produzir mais do que "q" ao preço "p". Quando todos os mercados estão em equilíbrio, o excedente econômico total (ou seja, a soma do excedente do produtor e do consumidor) é maximizado.

**Figura 9: Diagrama de equilíbrio de mercado no TIMES**

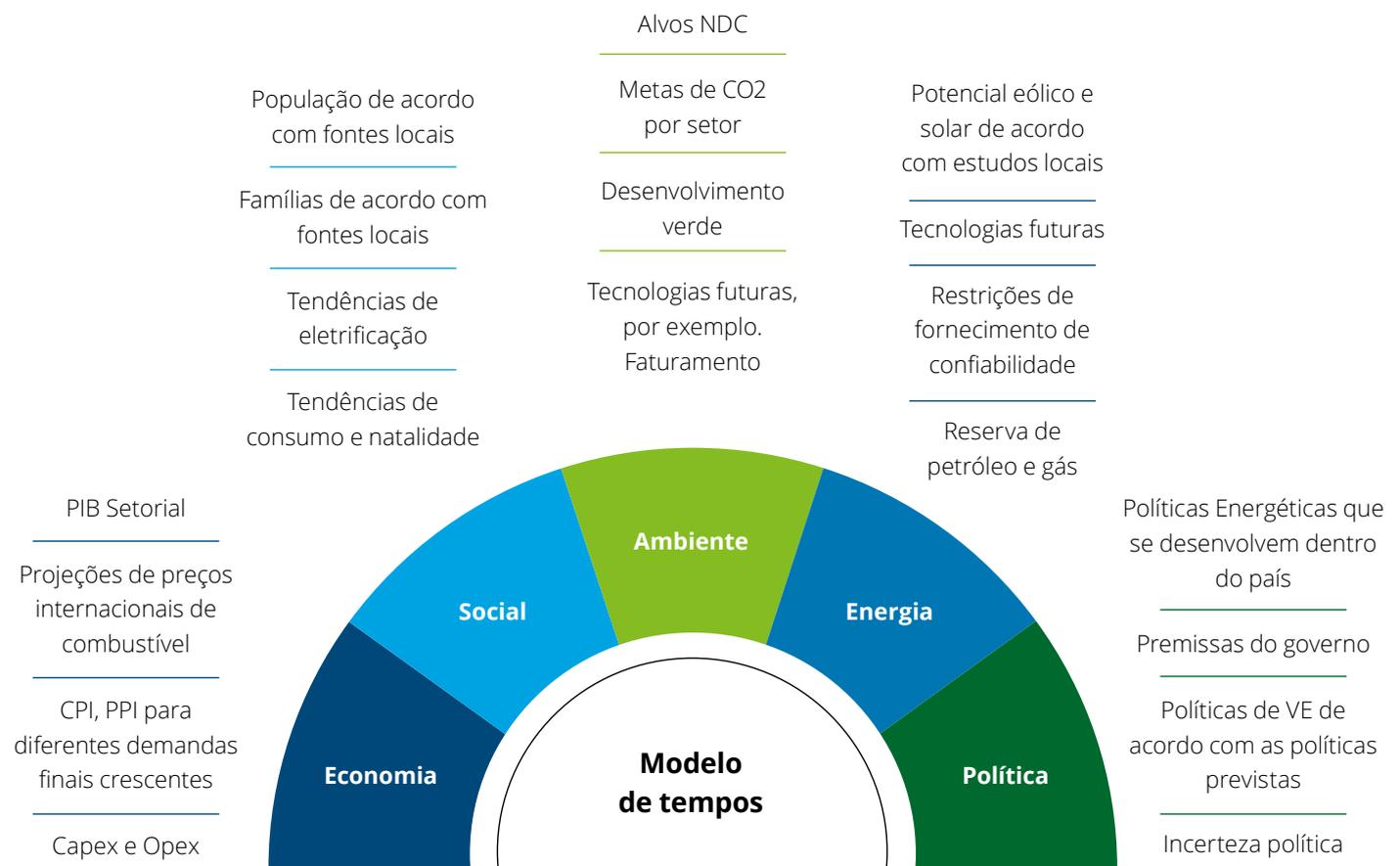


### Entradas e saídas

O principal resultado do TIMES são configurações de sistemas de energia que atendem à demanda do usuário final por serviços de energia com o menor custo possível, respeitando várias restrições (por exemplo, uma redução de 80% nas emissões ou uma penetração de 40% de eletricidade renovável). Em primeiro lugar, o modelo TIMES responde à pergunta: o objetivo é viável? Se um sistema de energia é possível, ele pode ser examinado, então a que custo? As saídas do modelo são fluxos de energia, preços de produtos energéticos, emissões de GEE, capacidades de tecnologias, custos de energia e custos marginais de redução de emissões.

A Figura 10 mostra um resumo das principais entradas e direcionadores de modelagem. Estão divididos em 5 pilares: Economia, Social, Meio Ambiente, Energia e Política.

**Figura 10: Esquema de entradas e drivers TIMES**

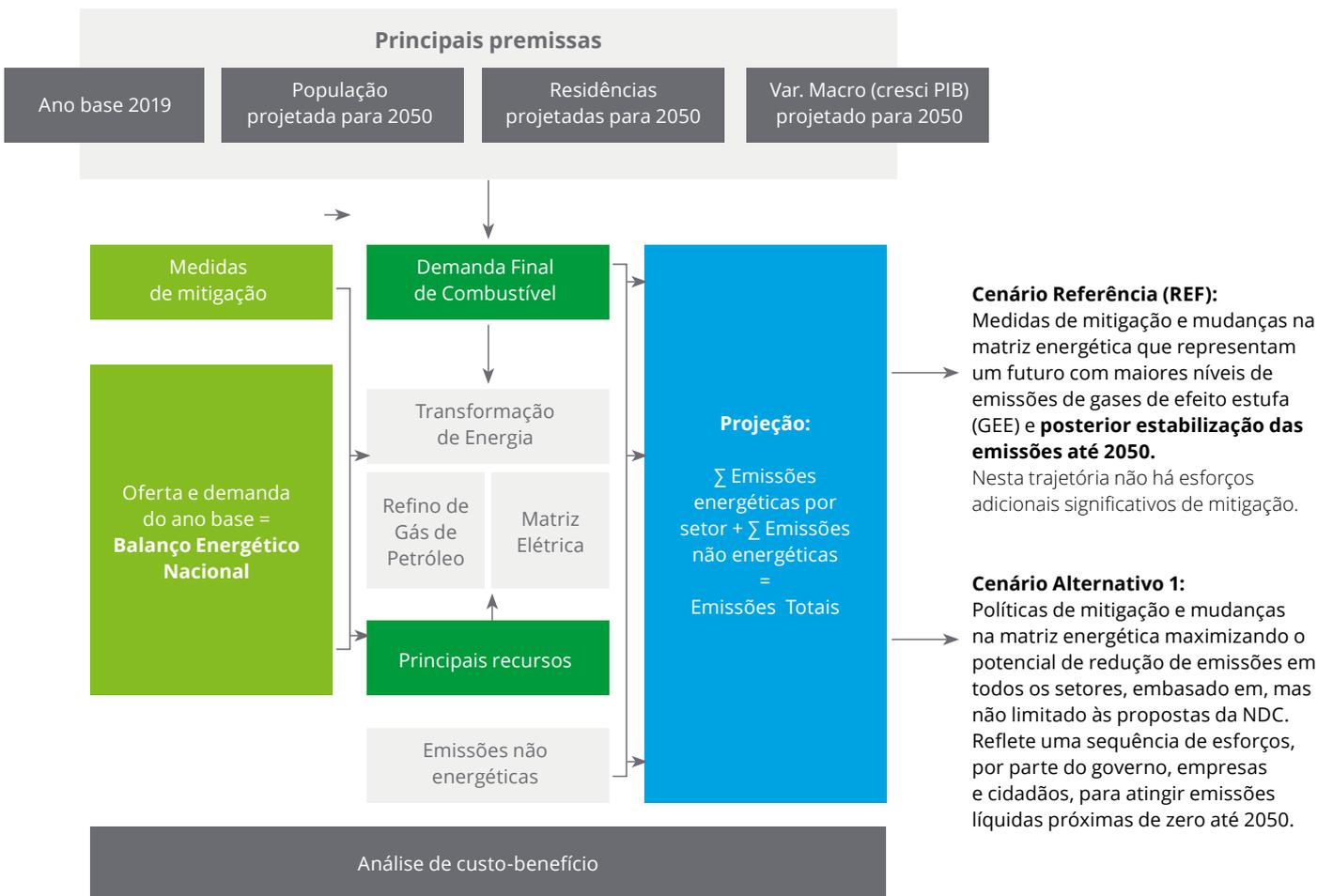


Todas estas informações foram compiladas de diferentes fontes oficiais, conforme detalhado abaixo:

- Projeções econômicas com fonte "The Economist Intelligence Unit".
- Plano Decenal de Energia – PDE 2031
- Plano Nacional de Energia – PNE 2050
- Emissões de GEE por Setor - SIRENE<sup>22</sup>
- Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA)
- Programa de Expansão de Transmissão / Plano de Expansão de Longo Prazo
- Contribuição Nacionalmente Determinada - 2020
- Folhas de dados técnicos por tecnologia publicadas pela IEA-ETSAP.

Na figura 11 é mostrado um esquema do modelo TIMES junto com os resultados do modelo.

**Figura 11: Diagrama das entradas e saídas TIMES**



22 <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>

## Construção de Cenários a partir da utilização do modelo TIMES

O modelo TIMES nos permitiu gerar os resultados deste estudo a partir da perspectiva de dois cenários diferentes:

- **Cenário de Referência:** Este é um cenário de caso de negócios, sem esforços adicionais em medidas de mitigação de gases de efeito estufa. Esse cenário reconhece avanços tecnológicos para o futuro, mas não esforços concretos em termos de investimentos para facilitar o combate às mudanças climáticas. Como consequência, as emissões projetadas surgem como consequência de um aumento nos níveis de demanda de energia derivados do crescimento demográfico e de um maior nível de atividade econômica, o que resulta em uma maior taxa de emprego e um maior nível de consumo devido a melhorias na Salários reais.
- **Cenário Net Zero:** Ao construir sobre as suposições básicas estabelecidas para o Cenário de Referência, no **Cenário Net Zero** São envidados esforços ao nível de políticas de mitigação para a redução das emissões de gases com efeito de estufa no setor da energia. Para isso, são definidas restrições ao modelo (principalmente, metas em termos de emissões e consumo de energia por tipo de combustível), e com base nessas premissas, o TIMES desenha uma solução ótima em termos de custos, para atingir as diretrizes em termos de emissões.

A construção de ambos os cenários contempla o mesmo ponto de partida, que neste estudo denominamos de “ano base”. Para este ano, as emissões são definidas com base no que consta do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa e na demanda de energia por setor, derivada dos Balanços Energéticos Nacionais. De forma que ao atribuir o consumo de energia por setor e por tipo de combustível, aos usos finais (tecnologias), o resultado proveniente do uso desses insumos, dê como resultado o volume de emissões reportado no inventário. A partir daí, projeta-se a curva de emissões em função dos critérios mencionados para cada cenário.

### Setor não energético: modelagem fora do TIMES

Como mencionado na seção anterior, o modelo TIMES é responsável por estimar as projeções de demanda por tipo de combustível para o setor de energia (residencial, comercial, serviços públicos, transporte, indústria e agricultura -em termos de uso de máquinas agrícolas-) e emissões de gases de efeito estufa resultantes desse consumo.

Relativamente ao setor não energético (Land Use, Change in Land Use and Forestry -USCUSS-, pecuária, resíduos, emissões fugitivas e processos industriais), as projeções são feitas fora do modelo TIMES, e ao nível das emissões/sequestro de gases com efeito de estufa .

O ponto de partida (ou ano base) resulta das emissões e sequestro de carbono (conforme o subsetor) informados no Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (INGEI). A partir daí, a projeção das emissões é regida pelas seguintes diretrizes:

- **Cenário de Referência:** ao não fazer esforços adicionais ao nível da implementação de políticas de mitigação, as emissões do setor não energético tenderão a aumentar, podendo mesmo perder o estatuto de carbono negativo (o que equivale a dizer que se perde o potencial de captura) em setores-chave como o USCUSS. O indicador (ou indicadores) que afetará o aumento das emissões virá de cada subsetor. No caso das emissões provenientes do setor USCUSS, a perda do potencial líquido de sequestro de carbono , e consequente registro de emissões de gases com efeito de estufa, será dada pelo aumento do nível de atividade econômica, uma vez que uma maior utilização da atividade agrícola, sem reconhecendo a implementação das melhores práticas, levará inexoravelmente a uma maior degradação da terra, eliminação de pastagens (que funcionam como sumidouros de carbono) e maiores níveis de desmatamento. O mesmo comportamento pode ser observado no setor ligado à pecuária, onde o maior nível de atividade econômica levará ao crescimento da pecuária e, portanto, a um maior volume de emissões de gás metano. Já as emissões fugitivas e os processos industriais seguirão a trajetória das emissões do setor industrial (dentro do setor energético). Por último, as emissões derivadas da gestão de resíduos estarão intimamente ligadas ao crescimento populacional e ao maior nível de consumo.
- **Cenário Net Zero:** em relação à trajetória das emissões projetadas no cenário de referência, as políticas de mitigação (sobre as quais nos aprofundaremos no capítulo 3) não permitem estabelecer restrições às emissões estimadas para o cenário de referência. Dessa forma, a curva de emissões dos diferentes subsetores será definida como resultado da diferença entre as emissões projetadas no cenário de referência e o potencial de mitigação de cada uma das medidas propostas para esses setores.

## Construção da análise de custo-benefício

Para compreender a metodologia implícita na elaboração da análise custo-benefício (que se detalha no capítulo 3 deste relatório), é necessário definir os conceitos:

- **Custo-benefício unitário:** custo ou benefício líquido de uma medida de mitigação para cada tonelada mitigada que deriva da diferença entre os investimentos de capital necessários para desenvolver a medida (CAPEX), as variações nos custos operacionais (OPEX) e o custo social de carbono (que representa a economia gerada por cada tonelada de CO<sub>2</sub>eq. evitada. Quando a variação dos custos operacionais (derivados da economia gerada pelo uso eficiente dos recursos) e a economia gerada em termos de custos de carbono social excedem o investimento de capital necessário (CAPEX), então dizemos que a medida gera um benefício unitário, caso contrário será uma medida com custo líquido por tonelada mitigado.
- **Custo-benefício total por medida de mitigação:** é o resultado da multiplicação do custo-benefício unitário da medida de mitigação pelo número de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. mitigado pela sua implementação.
- **Custo-benefício total:** resulta da estimativa do custo-benefício líquido por setor (que resulta da soma do custo-benefício total por medida de mitigação aplicável a cada setor). A soma do custo-benefício líquido dos diferentes setores (incluindo o conceito de custo social do carbono) resulta no custo-benefício total da transição energética.

Em relação aos resultados apresentados no capítulo 3, é importante observar que os valores estão expressos a valor presente. Isto porque as operações explicadas nos elementos acima referidos se aplicam a todos os anos incluídos no período em análise e, por isso, os fluxos são gerados em períodos diferentes. Para expressar os resultados a valor presente líquido foi utilizada a taxa de 10%.

O mesmo procedimento é aplicado para estimar a análise dos investimentos totais de capital (CAPEX) e através de mecanismos de precificação de carbono:

- **A análise do CAPEX implica**, para cada ano, multiplicar o valor total por tonelada a ser investido para a implementação das medidas de mitigação dos diferentes setores pelo total de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. mitigado. Na realização desta operação para todo o período em análise, para o cálculo dos valores a valor presente líquido é também aplicada a taxa de desconto de 10%.

- **Análise de precificação de carbono aponta** o potencial de financiar parte dos investimentos totais necessários para concretizar a transição energética por meio dos mercados de carbono. Os fluxos de fundos são estimados multiplicando as toneladas totais de CO<sub>2</sub>eq. mitigado por ano pelo preço do carbono de cada tonelada. Na realização desta operação para todo o período em análise, para o cálculo dos valores a valor presente líquido é também aplicada a taxa de desconto de 10%.

## Transformações necessárias no modelo energético

### Construção de cenários ambiciosos de redução de emissões

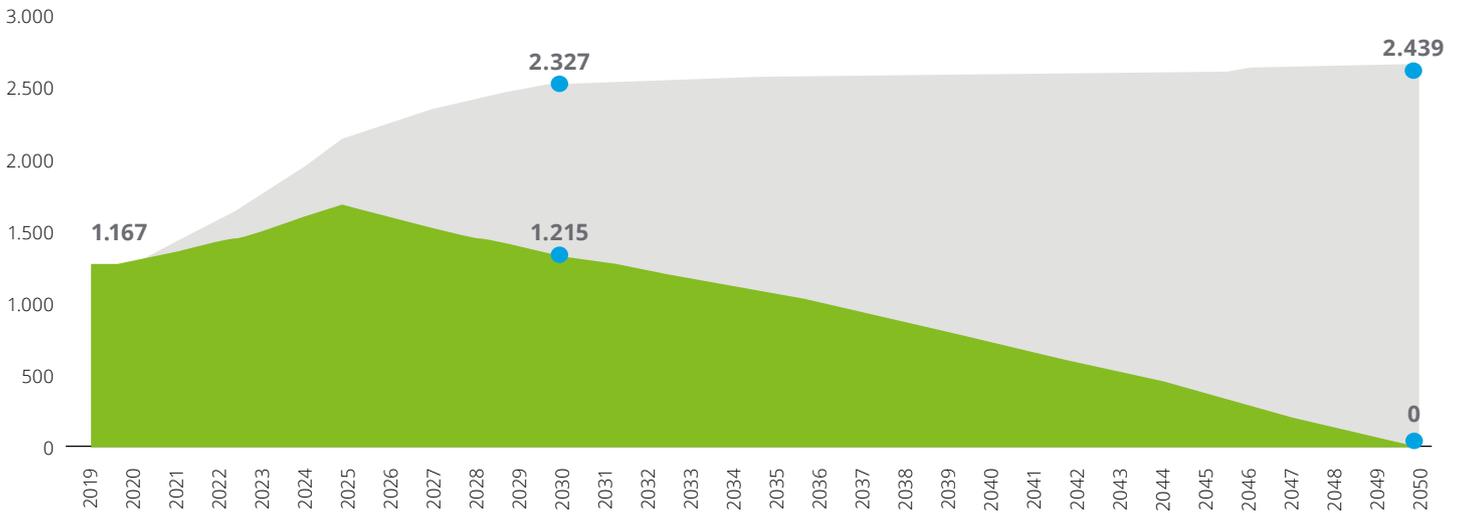
No cenário desenvolvido neste estudo (**Cenário Net Zero**) são introduzidas políticas de mitigação e mudanças na matriz energética, visando otimizar os resultados e aumentar a ambição de descarbonização em um contexto de apoio internacional.

Para integrar neste cenário a relação entre atividade econômica, comportamentos, políticas públicas e avanços tecnológicos, utilizou-se a ferramenta TIMES para realizar uma modelagem quantitativa.

Os resultados obtidos no cenário desenvolvido mostram que as soluções propostas para a transição energética no Brasil permitem atingir um alto nível de descarbonização no médio e longo prazo para uma economia que continua em desenvolvimento.

Fazendo um esforço adicional para otimizar os resultados, em 2050, as emissões de GEE do setor energético do **Cenário Net Zero** são reduzidas para 248,70 MtCO<sub>2</sub>eq. Por sua vez, o setor não energético, devido ao seu grande potencial de captura, consegue sequestrar 248,7 MtCO<sub>2</sub> equivalentes. Desta forma, a meta de neutralidade carbônica até 2050 é alcançada.

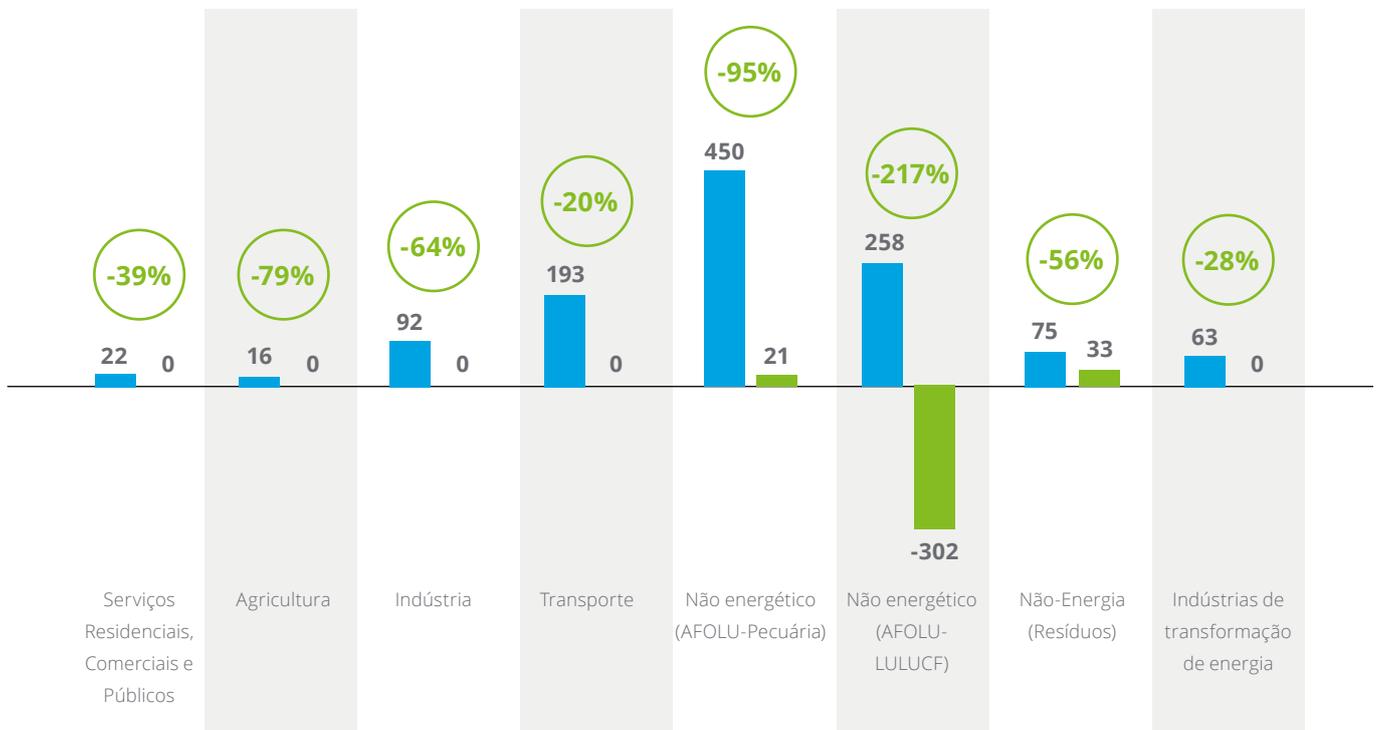
**Figura 12: Caminho de Emissões Líquidas de GEE (MtCO2eq.)**



**Legenda**

- Cenário REF
- Cenário Net Zero

**Figura 13: Emissões de gases de efeito estufa por setor (2019 - 2050) (MtCO2eq.)**



**Legenda**

- 2019
- Cenário 1

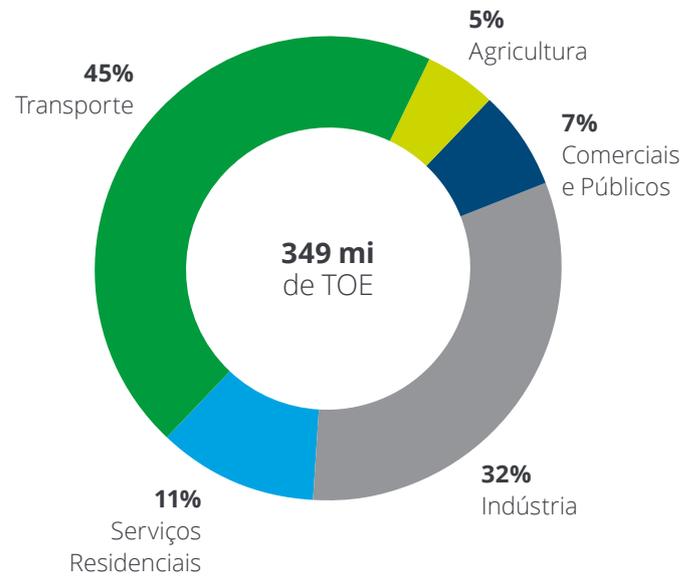
Fonte: Análise da Deloitte

No **Cenário Net Zero**, em todos os setores que demandam energia, é feito o maior esforço viável (em termos de custo-eficiência) para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, compensando o restante pela captura de carbono no setor.

Para manter ou reduzir as emissões, é fundamental dissociar o crescimento econômico do uso de energia, reduzindo a intensidade energética do desenvolvimento. No Cenário Net Zero o consumo total de energia é reduzido em 5% em relação ao cenário de referência para 2050. Neste cenário, os esforços para reduzir a intensidade energética são generalizados, mas também há uma série de medidas especificamente voltadas para a redução do consumo de energia do setor dos transportes, alcançando até 2050 uma redução adicional do consumo total de energia de 6% em relação ao cenário de referência.

Para que os esforços de descarbonização sejam efetivos, é necessário substituir o consumo de combustíveis fósseis, para que seu consumo não cresça, ou até mesmo diminua. A opção mais eficiente é promover a eletrificação da matriz energética. Embora os biocombustíveis possam prover uma contribuição adicional para a descarbonização, existem opiniões conflitantes sobre o efeito líquido ao longo de seu ciclo de vida, e pode ser que não reduzam as emissões líquidas. Por outro lado, a maior penetração de energias renováveis na matriz elétrica é uma estratégia comprovada de redução de emissões e, ao mesmo tempo, competitiva em termos econômicos em relação às alternativas.

**Figura 14: Consumo final total de energia até 2050 – por setor (participação %) - Cenário Net Zero**



Fonte: Análise da Deloitte



Fonte: Enel

## Tabela 1. Redução de Custos de Energias Renováveis

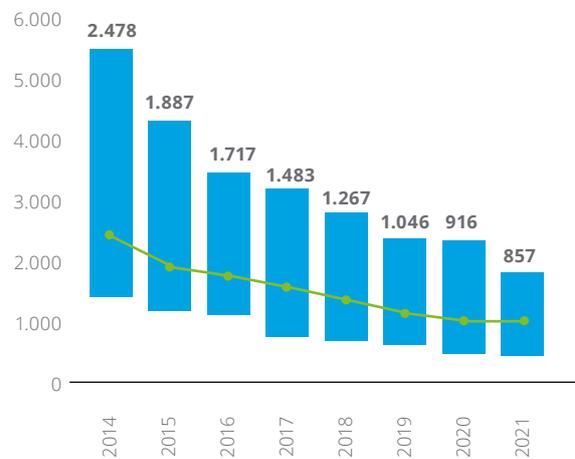
As tecnologias de energia de baixo carbono desempenham um papel fundamental na transição energética, particularmente no setor de energia, onde as tecnologias solar e eólica parecem ser opções cada vez mais competitivas à luz de seus custos continuamente em declínio.

Com base no levantamento da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) realizado em 2022<sup>23</sup>, a redução nos custos médios de instalação da tecnologia solar fotovoltaica em escala industrial foi de 88% apenas entre 2010 e 2021, atingindo um preço médio de 857 USD/kW em 2021. No caso eólico, a diminuição dos custos de instalação atingiu 67% entre pontos, destacando-se a menor dispersão dos preços existentes, com um intervalo em 2019 que passa de 1.325 a 2.858 USD/kW.

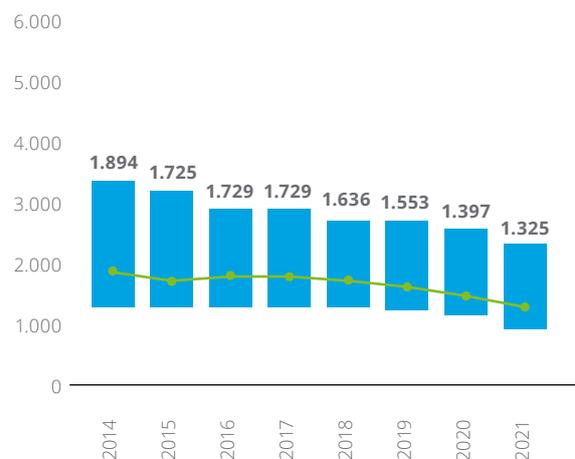
Se observado também o Custo Nivelado de Energia (LCOE), indicador que recria o custo esperado de assinatura de um contrato de fornecimento de longo prazo (PPA), a queda é ainda maior. Uma das causas se deve às melhorias técnicas que permitiram um maior desempenho dos equipamentos, bem como a maior participação que regiões como Ásia e América do Sul vêm adquirindo, com fatores de capacidade significativamente maiores em relação às áreas de maior penetração. No caso dos painéis fotovoltaicos, o LCOE médio caiu 90% entre 2010 e os novos projetos comissionados para 2021, enquanto nas usinas eólicas o indicador caiu 50% no mesmo período.

No futuro, a IRENA identificou pelo menos três grandes fatores que permitem projetar uma nova redução de custos: 1) melhorias tecnológicas, que continuam sendo uma constante no mercado de geração de energia renovável e que reduzirão cada vez mais os custos de instalação e aumentarão o desempenho dos equipamentos; 2) compras competitivas, que permitem melhores preços à medida que aumenta a escala; e 3) uma grande base de desenvolvedores de projetos, com experiência internacional que buscam ativamente novos mercados.

**Figura 15: Custo médio global instalado da tecnologia solar fotovoltaica (2021 USD/kW)**



**Figura 16: Custo médio global de instalação da tecnologia eólica onshore (USD 2021/kW)**



23 Fonte: Custos de geração de energia renovável IRENA em 2021. (<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>)

A capacidade de substituição de combustíveis dependerá, conseqüentemente, do avanço na eletrificação da demanda e da incorporação de nova geração renovável. Dentro do **Cenário Net Zero**, a eletricidade atinge uma participação total de 44% do consumo total, fazendo com que os combustíveis fósseis reduzam sua participação em 29%, de 48% para 34% (mantendo um consumo total de 117,6 milhões de toneladas de óleo equivalente).

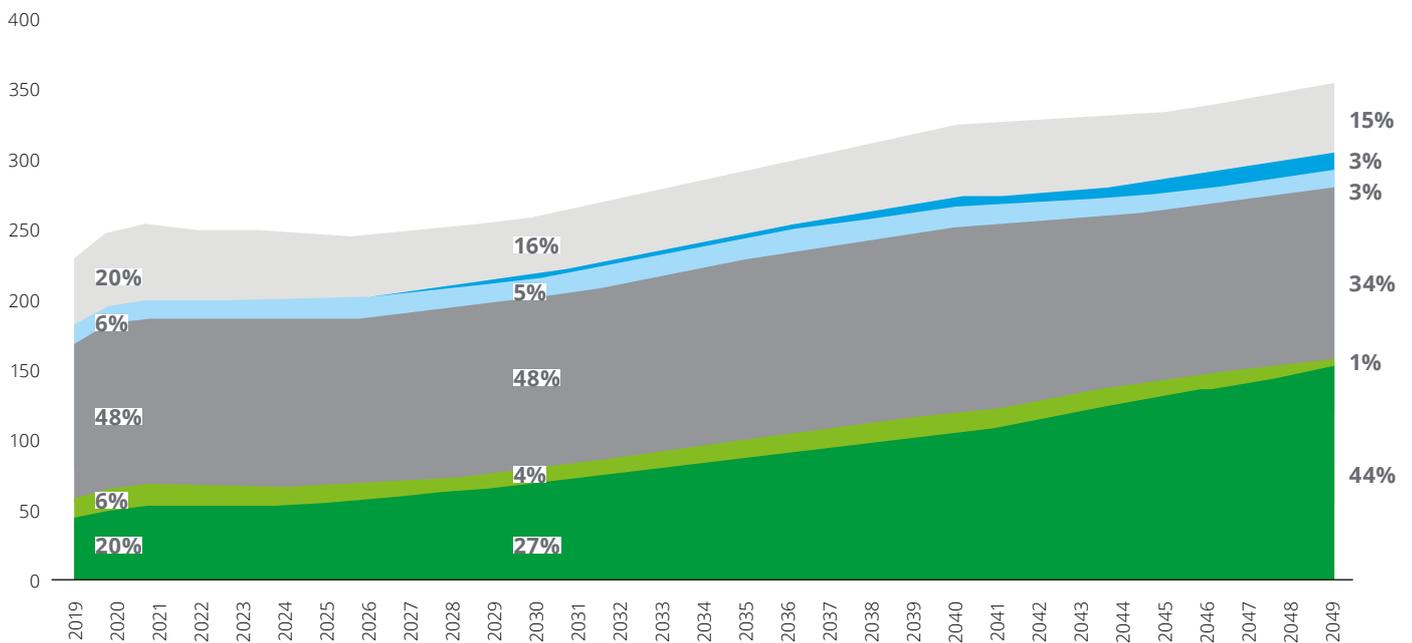
A eletrificação precisa ser acompanhada por uma mudança na matriz de geração para energias renováveis ou livres de emissões. Em primeiro lugar, o consumo de eletricidade crescerá a uma taxa anual de 4% no **Cenário Net Zero**.

No **Cenário Net Zero**, até 2050, a geração de eletricidade será eminentemente renovável, suportada em 73% por energias renováveis não convencionais (solar e eólica) e os 26,7% por energia hidrelétrica.

Brasil possui recursos naturais que permitem desenvolver um parque de geração de eletricidade livre de emissões e atingir as metas ambiciosas descritas acima. Nesse sentido, a capacidade instalada renovável estabelecida no **Cenário Net Zero** atinge 76% (sem hidrelétrica) e 95% (com hidrelétrica) até 2050.

O processo de transformação da matriz energética até 2050 em ambos os cenários ocorre principalmente com o desenvolvimento de projetos de energia eólica e solar. Nesse sentido, o **Cenário Net Zero** em 2050 contempla a instalação de parques eólicos com capacidade total de 344 GW e parques solares com capacidade total de 157 GW.

**Figura 17: Consumo Final de Energia (Milhões de TEP) - Cenário Net Zero**



#### Legenda

- Eletricidade
- Gás natural
- Derivados de petróleo
- Não Energético
- Hidrogênio
- Biodiesel

Fonte: Análise da Deloitte

Figura 18: Geração de eletricidade e penetração de renováveis (TWh)

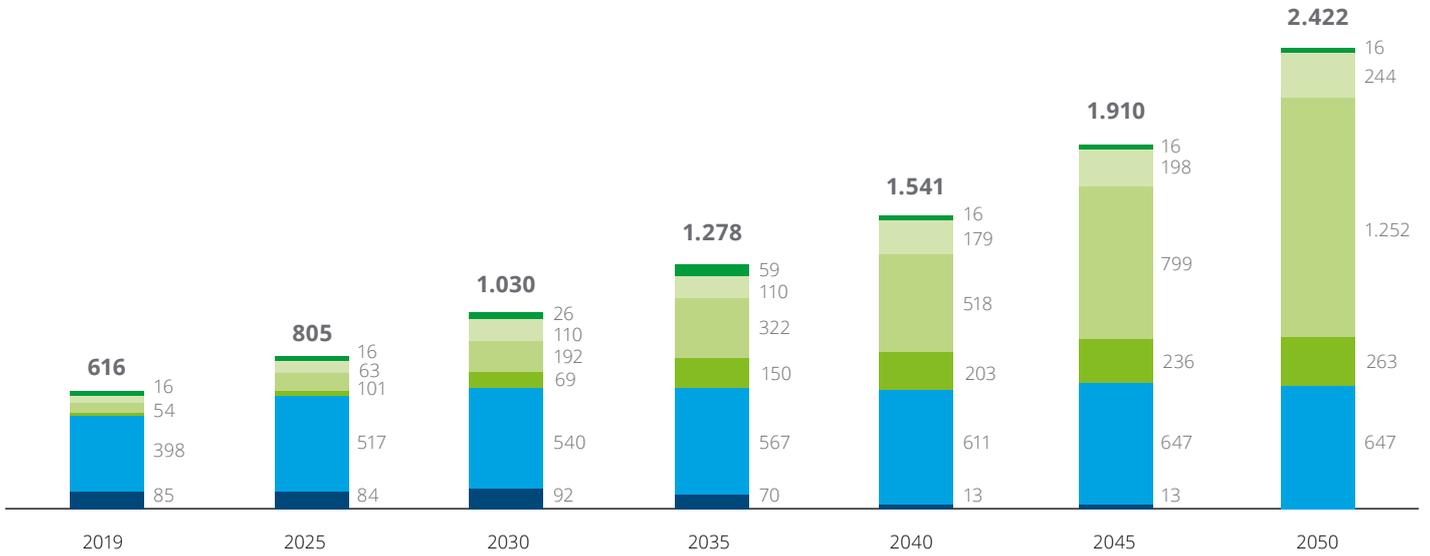
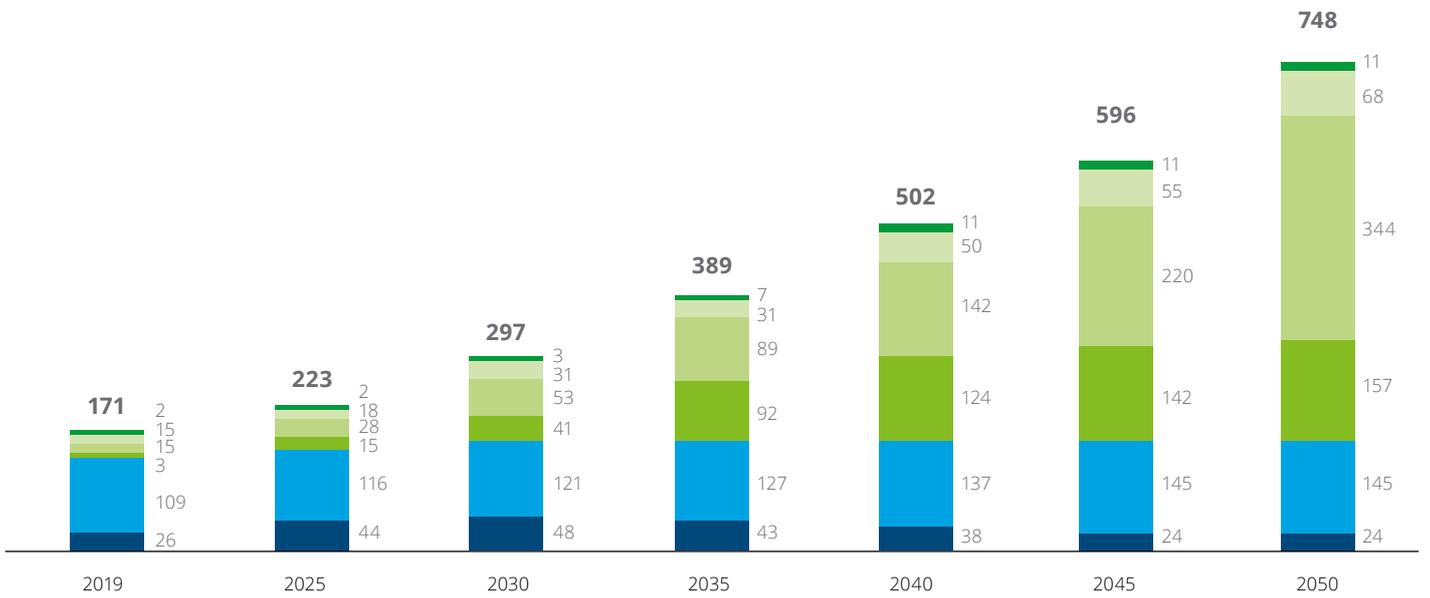


Figura 19: Capacidade Instalada (GW) - Cenário Net Zero



Legenda

- Térmica
- Eólica
- Hidroelétrica
- Biomassa
- Solar
- Nuclear

Fonte: Análise da Deloitte



# Transição energética

## Novas políticas energéticas no Brasil

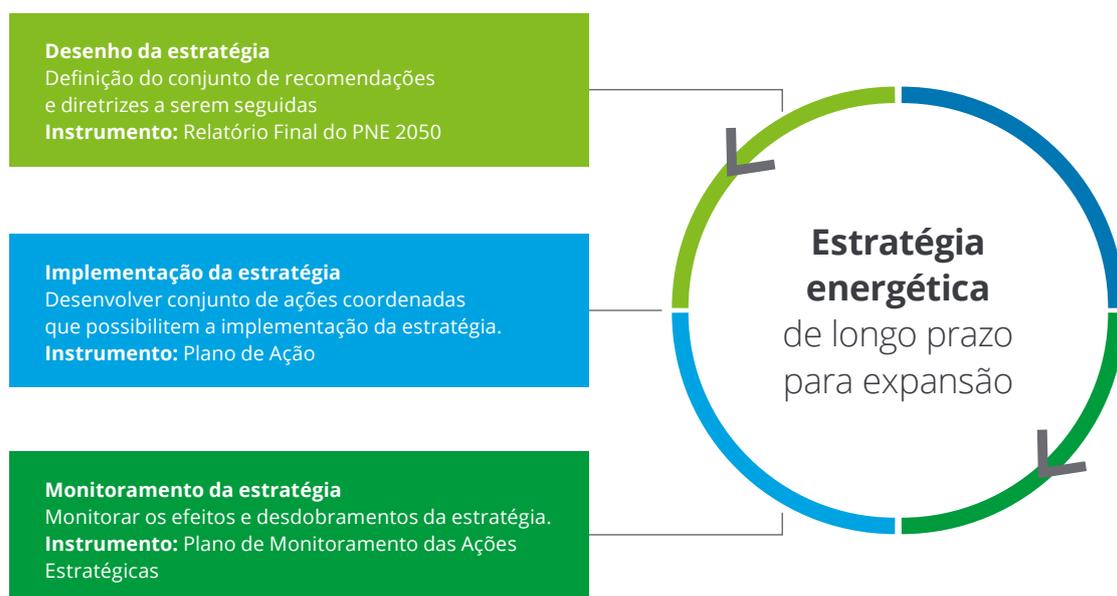
### Processo de implementação de medidas de mitigação no Brasil: planos setoriais existentes e novos

Em 16 de dezembro de 2020, o Ministério de Minas e Energia (MME) aprovou o Plano Nacional de Energia 2050.

Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) com base nas diretrizes do MME, o plano é um instrumento de apoio ou desenho da estratégia de longo prazo do planejador em relação à expansão do setor energético. Para isso, foi apresentado um conjunto de recomendações e diretrizes a serem seguidas ao longo do horizonte de 2050.

O PNE 2050 é um conjunto de estudos que subsidiam o desenho da estratégia de longo prazo do governo em relação à expansão do setor energético. A estratégia, por sua vez, consiste em um conjunto de recomendações e diretrizes a serem seguidas na definição das ações e iniciativas a serem implementadas ao longo do horizonte de 2050. Estas, por sua vez, precisam ser definidas em um Plano de Ação a ser elaborado seguindo a aprovação do PNE 2050. Nesse sentido, o PNE 2050 pode ser entendido como um processo dividido em 3 etapas, sendo o desenho da estratégia (conforme descrito neste relatório), a implementação da estratégia (a ser estabelecida no Plano de Ação) e, por fim, o acompanhamento dos efeitos e desdobramentos da estratégia adotada (a ser estabelecido em Plano de Acompanhamento das Ações Estratégicas).

Figura 20: PNE 2050 - Etapas da estratégia de longo prazo do governo em relação à expansão do setor de energia



Construído a partir das principais questões relevantes no horizonte, o PNE 2050 explora, por meio de cenários, os diversos aspectos da evolução do setor na perspectiva de diversas alterações na produção e uso de energia, comumente aglutinadas na chamada transição energética.

Em um contexto de grande incerteza, seu objetivo é explorar alternativas para o futuro a fim de melhorar o processo de tomada de decisão em políticas energéticas. Este sentido, ou estudo a longo prazo num contexto de múltiplas possibilidades para o futuro, exige mais cautela na interpretação dos seus resultados, bem como na forma de proceder à monitorização constante da validade da estratégia, pelo menos em 2 dimensões:

1. Olhando para o futuro, é necessário manter a consistência nas complexas interações entre as principais condições de produção e uso de energia.
2. O futuro guarda eventos para os quais não há possibilidade de preparo prévio. São os chamados cisnes negros, aqueles eventos que não temos a ciência e, portanto, não podem ser previstos, mas quando revelados produzem um grande impacto nas variáveis de interesse.

Consequentemente, a variedade de possibilidades e a incerteza resultante exigem que o decisor de política energética evite fazer escolhas que contemplem políticas públicas que resultem em eventuais trajetórias tecnológicas que se tornem mais onerosas à opção de abandoná-las, caso posteriormente se mostrem erradas, um fenômeno conhecido como bloqueio tecnológico.

Associados a essas mudanças, dois grandes cenários foram desenvolvidos, formando um conjunto de incertezas para o desenvolvimento da estratégia de longo prazo: o primeiro, denominado Desafio da Expansão, que reflete as necessidades de expansão do setor energético para atender a um crescimento a demanda por energia mais expressiva. No segundo, denominado Estagnação, analisamos as consequências de um cenário em que o consumo de energia per capita permanece inalterado ao longo de todo o período. Nesse caso, apesar da expansão da produção ser menos urgente, ainda há a necessidade de adotar uma política energética mais adequada para atender ao crescimento da demanda.

O cenário de Estagnação, no entanto, tem seus desafios intrínsecos relacionados a um ambiente econômico e de desenvolvimento mais adverso, o que não constitui, do ponto de vista do planejador do setor energético, uma preocupação iminente em termos de ampliação da capacidade de atendimento a demanda por energia, observada ou aumentada oferta de

energia verificada nos últimos anos. Da mesma forma, sua atenção poderia ser mais voltada, por exemplo, para discussões sobre o perfil mais adequado da matriz energética nacional, segundo algum critério de interesse (por exemplo, emissões de gases de efeito estufa).

O foco do PNE 2050 está voltado para o cenário Expansion Challenge, uma vez que tal contexto impõe ao planejador, além da necessidade de fortalecer e aperfeiçoar os mecanismos e políticas vigentes, também buscar soluções inovadoras que possibilitem o estabelecimento de uma estratégia de expansão para o longo prazo do setor energético, a fim de garantir o fornecimento de energia à sociedade no horizonte, atendendo aos critérios de segurança energética, retorno adequado dos investimentos, disponibilidade de acesso à população e critérios socioambientais.

Além disso, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (PDE)<sup>24</sup> foi levado em consideração, o que indica as perspectivas de expansão do setor energético para os próximos 10 anos (2022 a 2031) dentro de uma visão integrada das diferentes fontes de energia. O planejamento foi preparado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sob as diretrizes e apoio das equipes do Ministério de Minas e Energia, coordenado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE/MME) e pela Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SPG/MME).

Por sua vez, para a construção do **Cenário Net Zero**, foram consideradas medidas adicionais, descritas ao longo deste capítulo, sobretudo nos setores residencial, industrial, comercial e público, de maior eletrificação das tecnologias atuais e uma taxa de eficiência das novas tecnologias de acordo com os padrões internacionais.

24 <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>

## Planejando uma transição bem-sucedida para 2050

O caminho a seguir na transição deve ser cuidadosamente planejado para assegurar o cumprimento dos objetivos ambientais, de modo a que os esforços da sociedade como um todo, bem como o montante significativo do investimento, sejam efetivamente refletidos. Nesse sentido, as transformações devem ser realizadas sem colocar em risco a atividade econômica ou a segurança do abastecimento energético e, ao mesmo tempo, otimizar custos e investimentos.

Além disso, e em termos gerais, a especificação das ações a serem realizadas em cada caso deve incluir, no mínimo, as seguintes considerações:

- A sequência de implementação das medidas deve ser priorizada de acordo com o volume de emissões que elas evitam, ou nos combustíveis que mais poluem.
- A dimensão econômica deve ser levada em conta, escolhendo primeiro as medidas economicamente mais eficientes, no caso de considerar várias alternativas.
- A utilização de tecnologias de transição que permitam a adoção progressiva pelo mercado de tecnologias mais limpas, à medida que seus custos são reduzidos.
- O estabelecimento de metas setoriais de médio prazo que permitam o monitoramento de variáveis críticas e a detecção de possíveis desvios.

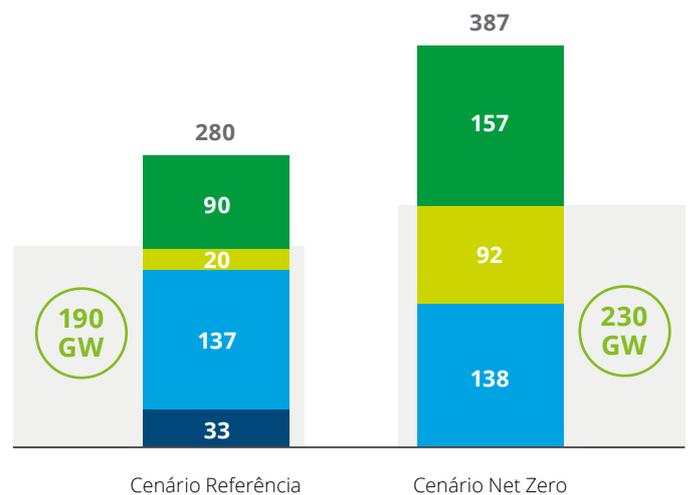
As seções seguintes do relatório aprofundam esses aspectos, agrupando-os por cada um dos vetores e detalhando o conjunto de medidas escolhidas para a transição para o modelo energético 2050.

## Mudar para fontes de energia primária essencialmente renovável, visando uma matriz elétrica verde

A alta participação da fonte hidrelétrica, que alcança 64% em 2019, coloca o Brasil em posição favorável em relação a outros países da região, com baixa participação térmica na matriz elétrica. Contudo, a transição energética demanda esforço adicional para alcançar o Net Zero e, para isso, a expansão focada em fontes renováveis não convencionais, associadas a tecnologias de armazenamento, torna-se essencial. No cenário Net Zero em discussão a capacidade instalada renovável, incluindo hidráulica, chega a 95% até 2050, com 344 GW e 157 GW energia eólica e solar, respectivamente.

Nesse sentido, essa maior penetração de energia renovável variável não convencional pode aumentar o requerimento de a gestão dos picos de demanda, o que pode ser solucionado, assim como demonstra a experiência internacional, por meio de uma gestão ativa pelo lado da demanda em complementação à participação fontes flexíveis e tecnologias de armazenamento no sistema. Destaca-se, nesse ponto, a importância de desenvolvimento de arcabouço regulatório que permita a adequada remuneração à essas tecnologias, frente sua importante atuação em um cenário de transição energética e busca pelo Net Zero.

**Figura 21: Geração para cobrir a demanda máxima (GW)**



### Legenda

- Térmica
- Hidroelétrica
- Eólica
- Bateria

Fonte: Análise da Deloitte

## Tabela 2. Projeções para redução de custo de armazenamento de bateria

**Os sistemas de armazenamento ou sistema de armazenamento de eletricidade (BESS) oferecem vantagens importantes para sistemas elétricos onde tecnologias variáveis, como energia solar e eólica, compartilham ganhos.** As aplicações estacionárias das baterias permitem aprofundar a inserção de energias renováveis, na medida em que permitem acumular energia não consumida no momento da geração e estar disponível para quando for necessário, suavizando assim as oscilações das condições climáticas que aparecem durante os dias, semanas ou mesmo meses. Além disso, proporcionam maior flexibilidade aos operadores de rede, garantindo operação e/ou reação suave e confiável a mudanças inesperadas na demanda, evitando danos aos aparelhos elétricos e quedas de energia. Outra vantagem do armazenamento de eletricidade é que ele pode reduzir o congestionamento na rede de transmissão nos horários de pico de geração e pode postergar a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura nesse segmento.

**As baterias também desempenham um papel importante na descarbonização de segmentos-chave de uso de energia, como no transporte com mobilidade elétrica e no caso de baterias para sistemas domésticos e microgrids que operam fora da rede.** Estes últimos estão surgindo como parte da solução para aumentar o acesso à eletricidade, além de fornecer serviços de estabilidade às microgrids, melhorar a qualidade da energia e substituir sistemas que dependem fortemente de óleo diesel.

Por outro lado, concentrados na região norte do Brasil, os 250 sistemas isolados do país respondem por cerca de 1% do consumo nacional de energia<sup>25</sup> e têm sido historicamente fornecidos por usinas a diesel, uma solução cara que depende de uma logística complexa e é responsável por altas emissões de GEE.

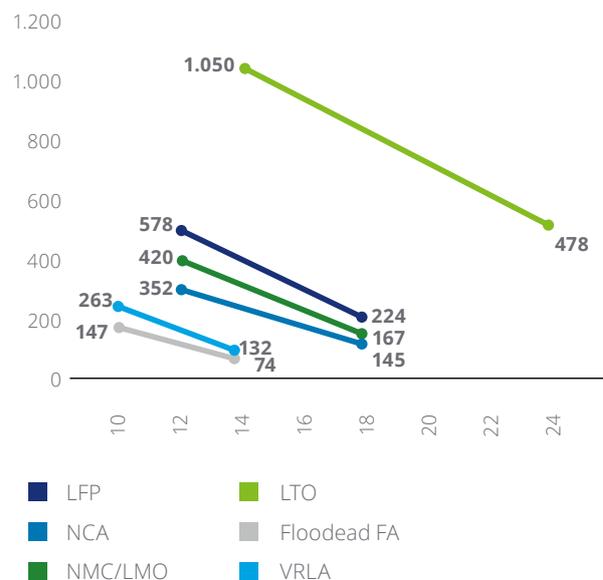
**O desenvolvimento de baterias mais eficientes, o aumento da sua vida útil e a tendência para uma rápida queda do seu custo, colocam esta tecnologia no centro da transição energética como uma alternativa competitiva, fornecendo serviços de valor em toda a cadeia de abastecimento e consumidores finais.**

A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) em seu trabalho “Armazenamento de eletricidade e renováveis: custos e mercados até 2030” (2017) aponta que o custo das baterias de íons de lítio caiu até 73% entre 2010 e 2016 para aplicações de transporte, podendo transferir esses benefícios de maior escala de fabricação para baterias para aplicações estacionárias, que hoje possuem um custo de instalação mais elevado devido a ciclos de carga/descarga mais sofisticados que exigem sistemas de gerenciamento e hardwares mais caros.

**Estima-se que o custo instalado de baterias de íons de lítio para aplicações estacionárias possa diminuir entre 54% e 61% até 2030<sup>26</sup>.** Isso refletiria uma queda no custo total instalado entre US\$ 207/kWh e US\$ 572/kWh, dependendo da composição química das baterias. Como mostra a Figura abaixo, as opções de chumbo-ácido serão ainda mais baratas, mas há um limite para a expansão de sua vida útil, que as torna menos competitivas.

**Figura 22: Projeção de custo e vida útil das baterias selecionadas por tecnologia Anos 2016 e 2030.**

(Em USD/kWh instalado/armazenado)



Nota: Baterias de íon de lítio (LFP, LTO, NCA e NMC/LMO) e chumbo-ácido (Floodead FA e VRLA).

Fonte: Análise Deloitte baseada em IRENA.

25 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082621000016>

26 Veja a Figura 22

## A promoção de infraestruturas digitais e redes inteligentes

### Análise de contexto

As redes de distribuição de energia elétrica no Brasil são constituídas por um complexo sistema de elementos que visam levar a energia de onde foi gerada para ou do local onde será finalmente consumida. Essas redes complexas integram unidades geradoras, linhas de transmissão, canais de distribuição e consumidores finais de energia elétrica.

As dimensões continentais do Brasil e a distância das unidades geradoras de energia aos centros de consumo são fatores que aumentam a importância das redes de distribuição. Os maiores consumidores de energia elétrica no Brasil são os grandes centros urbanos e as regiões industriais. Em muitas situações, a rede de distribuição garante que a energia gerada em regiões remotas chegue a esses centros consumidores e seja distribuída de forma eficaz. Como consequência, o Sistema Interligado Nacional (SIN) é o maior sistema de transmissão do mundo, sendo formado pelas empresas de geração, transmissão e distribuição de energia que atuam no país. Este sistema é responsável por integrar as diferentes regiões que produzem e consomem energia.

O principal impulso para a integração foi a evolução da industrialização e urbanização no país, especialmente nas regiões Sudeste e Sul.

Em termos de expansão da rede, o documento PET/PELP Ciclo 2022 – 1º Semestre contempla todas as obras de expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) recomendadas nos estudos de planejamento concluídos até junho de 2022 e que ainda não estão autorizadas ou licitadas, computando os resultados da recente Leilão de Transmissão 001/2022 (junho/2022).

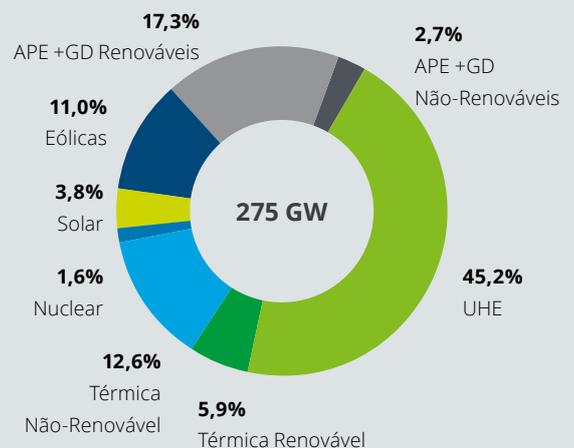
### Projetos contemplados não documentam Ciclo PET/PELP 2022 – 1º Semestre<sup>27</sup>

Para fins de modelagem, foram considerados os projetos detalhados no Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP) Ciclo 2022 – 1º Semestre (páginas 12 a 25).

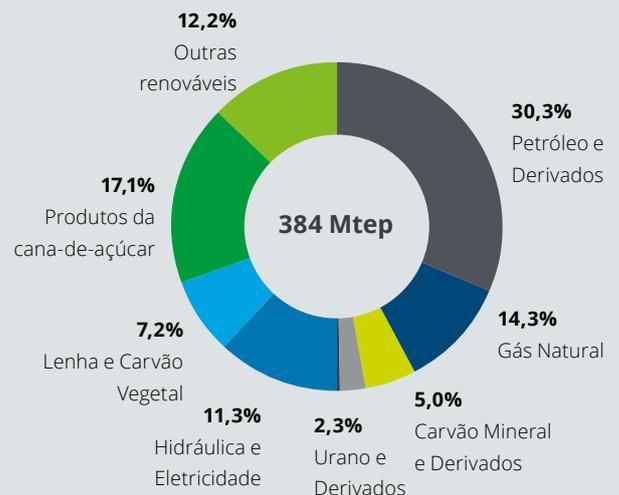
A transformação da matriz e a regionalização dos projetos contemplados no Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 são detalhadas a seguir:

Figura 23: Mapa Síntese do PDE 2031

### Matriz de Energia Elétrica em 2031



### Matriz Energética em 2031



<sup>27</sup> Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP) Ciclo 2022 – 1º Semestre

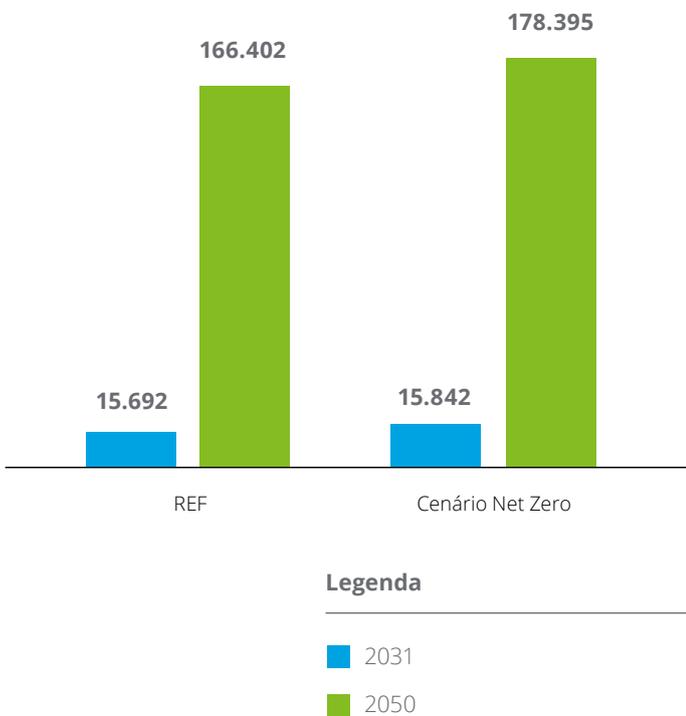
### Expansão de energia PDE 2031



Nota: As ampliações e a expansão indicativa não estão representadas no mapa.  
 Fonte: Plano Decenal de Expansão Energética 2031 - Empresa de Pesquisa Energética

Para alcançar as metas de eletrificação até 2050 estabelecidas no **Cenário Net Zero**, em acordo com o modelo desenvolvido, será necessário um esforço adicional de expansão de redes de transmissão. Nesse sentido, identifica-se a necessidade de expansão de um total de 349.088 km em linhas de transmissão de energia elétrica, o que permitirá o despacho de 577 GW de potência adicional.

**Figura 24: Investimentos em linhas de transmissão de energia** (em milhões de USD)



Fonte: Análise da Deloitte

### Perspectivas

A atualização da infraestrutura e a digitalização são a base para sustentar a transição para um modelo de energia sustentável e de baixo carbono<sup>28</sup>. O aumento da procura de eletricidade deverá conduzir a uma mudança de paradigma de um sistema tradicional para um sistema completamente flexível que se adapte ao aumento das energias renováveis e à geração descentralizada.

No horizonte de 2030, serão necessários novos investimentos em redes elétricas tanto para permitir o acesso a locais com elevado potencial renovável, como para prosseguir uma rede mais interligada que permita aumentar a fiabilidade do sistema. Isso requer um maior número de pontos de conexão disponíveis para futuros leilões em programas de desenvolvimento de energia renovável. Por seu lado, no horizonte 2050, a conclusão das redes das principais áreas urbanas e os novos reforços na rede deverão aumentar consideravelmente os potenciais locais de geração distribuída de energia eólica e solar.

Por sua vez, a digitalização da rede é o principal facilitador da transição necessária, que traz benefícios significativos em termos de economia de custos de energia, eliminação de emissões de GEE e melhoria da qualidade do ar. A transição para 2050 exigirá, entre outras coisas, um investimento na rede elétrica, tanto no setor de transmissão quanto no setor de distribuição. Os investimentos necessários nas redes de distribuição permitirão a plena integração da nova capacidade renovável, majoritariamente ligada às redes de baixa e média tensão, gerirão o desenvolvimento da mobilidade elétrica e apoiarão a eletrificação dos consumos nas redes residencial e setores residenciais de serviços.

Uma rede elétrica moderna trará muitos benefícios para a população e economia do país. A digitalização da rede permitirá que os clientes de serviços públicos gerenciem melhor e reduzam os custos de eletricidade, quedas de energia mais curtas e menos frequentes, melhorias nas condições de trabalho e segurança pública. Ao mesmo tempo, fortalecerá o sistema elétrico, aumentando a confiabilidade e a resiliência do serviço mesmo em caso de condições climáticas severas.

A implantação massiva de medidores inteligentes proporcionará um retorno positivo tanto para o sistema quanto para os clientes. Os benefícios incluem eficiência energética e a oportunidade para os usuários gerenciarem ativamente sua demanda e mudarem hábitos de consumo, levando a uma melhor eficiência.

<sup>28</sup> A análise desta seção foi em grande parte baseada em um relatório da Deloitte realizado anteriormente: "Rumo à descarbonização da economia: a contribuição das redes para a transição energética", 2018. (<https://perspectivas.deloitte.com/contribucion-electric-redes>)

Medidores inteligentes podem ajudar a criar padrões de demanda ativos e um sistema mais confiável e previsível. As tarifas por hora devem ser desenvolvidas para permitir maior flexibilidade para incentivar o uso mais eficiente da grade, por exemplo, uma curva de carga mais plana exigirá menos demanda e menos demanda firme, permitindo um melhor planejamento e otimização da geração. A massificação dos medidores inteligentes será a base para o desenvolvimento das redes inteligentes e para a otimização no planejamento dos investimentos em distribuição.

Recomenda-se que sejam concedidos incentivos aos investimentos na distribuição para reconfigurar e modernizar as redes para modelos mais resilientes e alinhados com a sua digitalização, que permita atingir níveis ótimos de qualidade e gerir eficazmente a entrada da mobilidade eléctrica, geração, resposta à demanda, otimização de investimentos, entre outros serviços.

## Promover a eficiência energética e eletrificação dos usos finais

### Promoção da eficiência energética

A evolução para uma matriz energética mais limpa em termos de emissões passa também pela redução da intensidade energética, que é conseguida através de melhorias na eficiência energética. Todos os setores de atividade em nível nacional devem estar alinhados para reduzir o consumo de energia do país e, portanto, as medidas correspondentes devem afetar cada um deles.

A regulação legislativa é uma excelente ferramenta para alcançar fortes impactos em termos de consumo de energia. Hoje o principal instrumento normativo é a Lei da Eficiência Energética (10.295/2.001), que pretende estabelecer os mecanismos para alcançar o uso eficiente da energia e substituí-los quando convém ao país, considerando a proteção do meio ambiente. Esses mecanismos serão baseados em três postulados:

1. A obrigatoriedade de execução de projetos de uso racional de energia em empresas de alto consumo;
2. Controle de equipamentos e instalações que, por sua ampla utilização, afetam a demanda de energia;
3. O estabelecimento de um sistema de bilhetagem que informa os usuários sobre seu consumo de energia.

Além disso, introduzir conceitos de Eficiência Energética no currículo da educação formal, tanto nos níveis fundamental e médio, quanto nos ambientes técnicos e universitários afins, incorporar sistemas de gestão de energia nas empresas, gerar regulamentação específica nas construções e disseminar novos processos industriais, são apenas algumas das questões que a lei deve tratar, a fim de estimular uma mudança de paradigma no comportamento da população e das empresas. O desenvolvimento de ações voltadas a realizar processos com mais eficiência, ou simplesmente não desperdiçar energia com consumos desnecessários, são formas pelas quais tanto o usuário com capacidade de gestão quanto o pequeno usuário podem colaborar no aumento da eficiência.

**Para uma maior eletrificação nos usos finais Em 2050 seria necessário atingir um nível de eletrificação de aproximadamente 44% do consumo total de energia final no Cenário Net Zero.** Da mesma forma, o consumo de derivados de petróleo deve representar 34% do consumo total de energia final, ante o atual patamar de 48%. Isso representa uma redução de 1,18% ao ano, como resultado da transferência de tecnologias convencionais para tecnologias elétricas.

### Eletrificação dos setores residencial, comercial e público

Em 2019 (ano base), o setor residencial, comercial e público foi responsável pela emissão de 21,5 MtCO<sub>2</sub> equivalente (2% do total de emissões do Brasil na época). No **Cenário Net Zero**, o consumo de eletricidade no setor residencial, comercial e de serviços públicos proposto pelo modelo TIMES em consideração ao mix de medidas de mitigação propostas para atingir as metas de emissões de 2050 precisaria aumentar para 92%.

Para atingir esta penetração a partir dos valores atuais, o consumidor residencial, bem como o Estado para os seus edifícios e equipamentos públicos, terá de investir em novos equipamentos para usos térmicos, em fogões eléctricos e em eletrodomésticos com maior nível de eficiência que possam surgir no mercado nos próximos anos. A adoção de um ou outro tipo de energia será decorrente da competitividade de custos das diferentes soluções tecnológicas disponíveis e das regulamentações aplicáveis, inclusive aquelas que estimulem menores emissões nesses consumos.

### Tabela 3. Frigoríficos

Os aparelhos de refrigeração são tecnologias maduras cujo mercado atingiu níveis de saturação nos países mais desenvolvidos, com taxas de penetração de quase 100%<sup>29</sup>.

O mercado atual é caracterizado por uma diminuição significativa no tamanho do freezer, com um aumento nos refrigeradores combinados. Dispositivos de refrigeração comercial (armários de serviço e de explosão, câmaras frigoríficas, unidades de condensação embaladas, resfriadores de processo) são usados em restaurantes, hotéis, bares, cafés, supermercados e em processos industriais. Em alguns tipos de edifícios comerciais (por exemplo, supermercados), a refrigeração é responsável por até 50% do consumo de energia do edifício<sup>30,31</sup>. Todos esses dispositivos incluem compressores, válvulas de expansão, condensadores e evaporadores, ventiladores do evaporador e fluidos de processo apropriados. No que diz respeito ao fluido de processo, nas últimas décadas do século XX, os gases à base de Freon, CFC e HCFC têm sido amplamente utilizados por serem eficientes, estáveis e seguros. No entanto, as regulamentações para proteger a camada de ozônio atmosférica levaram à eliminação da maioria desses gases, e gases alternativos de hidrofluorcarbono (HFC) foram desenvolvidos e estão em uso hoje. Fluidos com menor potencial de aquecimento global estão atualmente em desenvolvimento. A demanda de energia para aparelhos de refrigeração pode ser reduzida por meio de melhorias de eficiência, como isolamento a vácuo e espumas de poliuretano, descongeladores adaptáveis, trocadores de calor, compressores e ventiladores mais eficientes e controle eletrônico.

Em 2019, os refrigeradores no Brasil representaram aproximadamente 11% do consumo total de energia elétrica, até o final de 2050 espera-se que sua participação no consumo total de energia elétrica do setor seja reduzida para 9% no **Cenário Net Zero**.

### Tabela 4. Iluminação

A iluminação é responsável por aproximadamente 19% de toda a eletricidade gerada em todo o mundo. O consumo de energia de iluminação pode ser reduzido através de melhorias na eficiência energética dos sistemas de iluminação, que são compostos por lâmpadas, luminárias e reatores. (Este último para lâmpadas de descarga). As principais melhorias de eficiência estão associadas à escolha da lâmpada. Os principais tipos de lâmpadas utilizadas no setor doméstico incluem as tradicionais (ineficientes) lâmpadas incandescentes de filamento de tungstênio (serviço de iluminação geral, GLS), lâmpadas halógenas (HL), as lâmpadas fluorescentes compactas mais eficientes (CFL) e luminárias com tecnologia LEDs.

A transição proposta para os setores residencial, comercial e de serviços públicos contempla para ambos os cenários uma rápida transição para as tecnologias LED.

### Tabela 5. Cozinhas

Nos países desenvolvidos, os aparelhos de cozinha são tecnologias maduras com penetração de mercado muito alta.

Enquanto isso, nas economias em desenvolvimento, a energia para cozinhar é um uso final mais importante em comparação com as economias desenvolvidas: na Índia, cozinhar é responsável por 90% do consumo doméstico de energia<sup>32</sup>.

Os equipamentos domésticos podem ser amplamente classificados em fornos, churrasqueiras, fogões e micro-ondas. A partir de 2019, o maior consumo de toneladas equivalentes de petróleo corresponde à utilização de biomassa (7,4 milhões), enquanto o gás natural é o menos representativo em termos de consumo (0,24 milhões). Para atingir a meta de neutralidade carbônica até 2050, será necessário que, a longo prazo, a eletrificação dos usos finais permita uma maior quota de eletricidade como insumo (representando 78% do consumo de energia no segmento de cozinhas até 2050)<sup>33</sup>.

29 IEA, Estatísticas-chave da Energia Mundial

30 IEA, Cool Appliances: Estratégias Políticas para Casas com Eficiência Energética

31 Dados de aparelhos frios, ODYSSEE

32 DK a. MRSD Pohekar, Disseminação de alternativas energéticas para cozinhar na Índia - uma revisão

33 Análise Deloitte - Resultados do Modelo

### Tabela 6. Aquecimento e resfriamento usando bombas de calor

As bombas de calor não são uma tecnologia nova e são utilizadas em todo o mundo há décadas. De fato, exemplos desse tipo de tecnologia são os condicionadores de ar quente-frio. As bombas de calor fornecem aquecimento e resfriamento de ambientes em edifícios que usam principalmente eletricidade como fonte de energia primária. O custo de capital das bombas de calor para aquecimento ambiente pode ser superior ao custo dos equipamentos de combustão tradicionais em alguns casos, no entanto, o custo da tecnologia está diminuindo. Embora as bombas de calor sejam uma tecnologia madura, espera-se que sua eficiência aumente de 16 a 17% para aquecimento e resfriamento até 2030 e de 33 a 40% até 2050. Esperam-se reduções de custos como resultado de melhorias tecnológicas, penetração de mercado e sinergia com sistemas de armazenamento térmico. Os custos de funcionamento das bombas de calor são inferiores aos do aquecimento a óleo e comparáveis aos do aquecimento a gás, com a vantagem conveniente de também proporcionar arrefecimento durante as estações mais quentes.

Entre as principais vantagens das bombas de calor está o fato de o seu princípio de funcionamento permitir que utilizem menos energia do que o calor que fornecem, o que lhes permite atingir facilmente rendimentos sazonais de 200% a 300%, em comparação com um máximo de 100% alcançável por uma caldeira a gás ou óleo de primeira classe. As modernas bombas de calor adaptam-se a todas as condições climáticas, o que é comprovado pela ampla penetração das bombas de calor nos mercados do norte e nórdico. A energia extra recuperada pelo processo em uma base de 100% conta como energia renovável, uma vez que não é necessária nenhuma energia primária adicional para produzi-la. Com o mix elétrico médio da América Latina, as bombas de calor emitem menos CO<sub>2</sub> do que qualquer outro dispositivo de aquecimento. Se as bombas de calor fossem amplamente adotadas para aplicações de aquecimento de ambientes e água em edifícios, elas poderiam reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub> em 1,25 bilhão de toneladas em 2050, de acordo com a Agência Internacional de Energia<sup>34,35</sup>.

### Tabela 7. Sistemas para aquecimento de água

Nos países desenvolvidos, houve melhorias modestas na eficiência do aquecimento de água nos últimos anos. O aquecimento de água é normalmente o terceiro maior uso final de energia doméstica depois de aquecimento/resfriamento e iluminação. Essa demanda pode ser atendida por sistemas dedicados de aquecimento de água ou por sistemas combinados que também desempenham um papel primário de aquecimento do ambiente<sup>36</sup>.

Os sistemas dedicados podem ser amplamente caracterizados como sistemas de armazenamento, dispositivos instantâneos ou sistemas alternativos, incluindo bombas de calor e sistemas solares. As divisões de combustível variam substancialmente; a maioria dos países depende principalmente de gás e eletricidade, embora o uso de petróleo e biomassa possa ser significativo.

No setor comercial, o consumo de aquecimento de água contribui com uma proporção menor do consumo total e está concentrado em tipos de edifícios limitados. Os equipamentos comerciais de aquecimento de água geralmente são dimensionados em comparação com os equipamentos domésticos, em termos de potência e capacidade de armazenamento ou vazão, com sobreposição significativa entre equipamentos pequenos.

34 Roteiro de edifícios - Agência Internacional de Energia

35 Perspectivas da Tecnologia Energética - Agência Internacional de Energia

36 IEA ETSAP - Resumo de Tecnologia R03

### Setor residencial

Segundo estimativas da "The Economist Intelligence Unit", em 2019 havia 68,4 milhões de domicílios habitados no Brasil, e a projeção populacional feita pela mesma organização prevê cerca de 98 milhões até 2050.

Para construção dos cenários foi considerada a substituição de tecnologias convencionais à tecnologias elétricas nos principais itens de demanda energética nas residências: ventilação e ar condiciona (HVAC), cozimento e outros usos, principalmente aquecimento da água. Por sua vez, espera-se que a maior eficiência das novas tecnologias leve a um menor consumo de energia por dispositivo (maior em termos absolutos em relação ao ano base).

### Seção comercial

Em linha com os últimos censos e relatórios publicados<sup>37</sup>, em 2019 havia 6,4 milhões de empresas cadastradas no Brasil. Se tomarmos a taxa de crescimento do PIB para a projeção<sup>38</sup>, em 2050 o número de empresas deve chegar a aproximadamente 187 mil.

Da mesma forma que no setor residencial, espera-se que as novas instalações construídas sejam adaptadas para o uso de aparelhos elétricos. Por sua vez, estima-se uma transferência gradual das tecnologias convencionais para as elétricas, à medida que estas alcançam níveis mais elevados de eficiência.

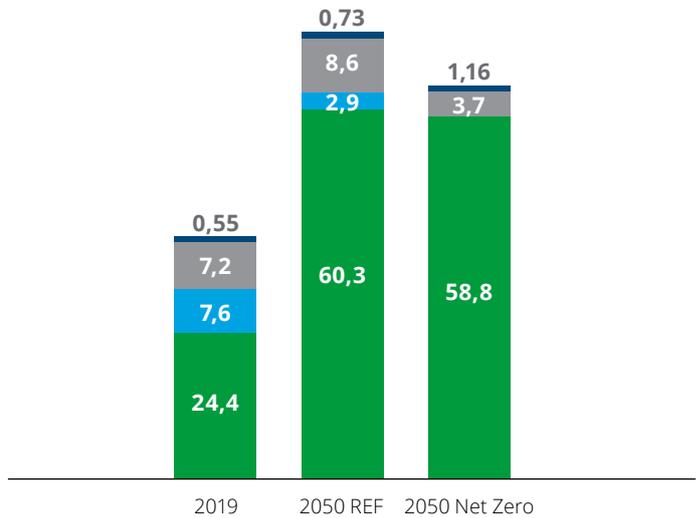
### Setor público

A expectativa é que, ao longo dos anos, novos prédios públicos (como escolas e hospitais) que forem inaugurados sejam adaptados para o uso de aparelhos elétricos. Por sua vez, os estabelecimentos públicos existentes substituirão gradualmente os aparelhos não elétricos por elétricos à medida que estes se tornarem mais eficientes e custo-eficientes.

Em resumo, podemos listar as seguintes medidas para a categoria de serviços públicos:

- No que diz respeito às luminárias, a transferência de 100% das luminárias convencionais para luminárias LED até 2050.
- Eletrificação de aparelhos para aquecimento de água.
- Eletrificação de cozinhas em refeitórios públicos

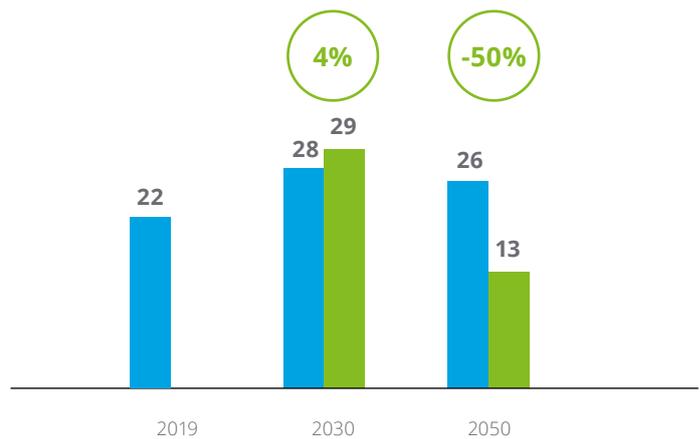
**Figura 25: Consumo final de energia – Setores Residencial, Comercial e Serviços Públicos (Milhões de TEP)**



#### Legenda

- Eletricidade
- Biomassa
- Derivados de petróleo
- Gás natural

**Figura 26: Emissões diretas – Setores Residencial, Comercial e Serviços Públicos (MtCO2eq.)**



#### Legenda

- REF
- Cenário Net Zero

Fonte: Análise da Deloitte

<sup>37</sup> A Competitividade da Indústria Brasileira de Venture Capital e Private Equity - Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil)

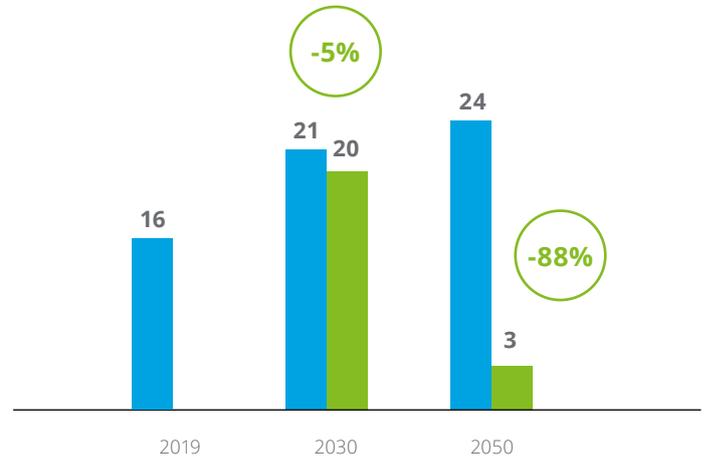
<sup>38</sup> Estimativas próprias baseadas em projeções feitas pela "The Economist Intelligent Unit"

## Eletrificação do setor agrícola

Nos próximos 10 anos, espera-se que uma migração tecnológica no maquinário agrícola global provoque mudanças nos paradigmas de produção, comparáveis ao que produziu o surgimento do trator diesel nas décadas de 50/60 do século passado<sup>39</sup>. Por esta razão, embora na América do Sul o desenvolvimento de “robôs” e/ou máquinas que utilizam baterias de recarga elétrica ou solar (já disponíveis em alguns países europeus) ainda esteja em fase de desenvolvimento e projeto de protótipo, a construção do **Cenário Net Zero** contempla a irrupção desse tipo de tecnologia de forma gradual para o período 2019-2050.

Em termos de eficiência energética, a eletrificação de máquinas agrícolas deverá gerar uma redução de 100% no consumo de energia em relação ao cenário de referência para 2050.

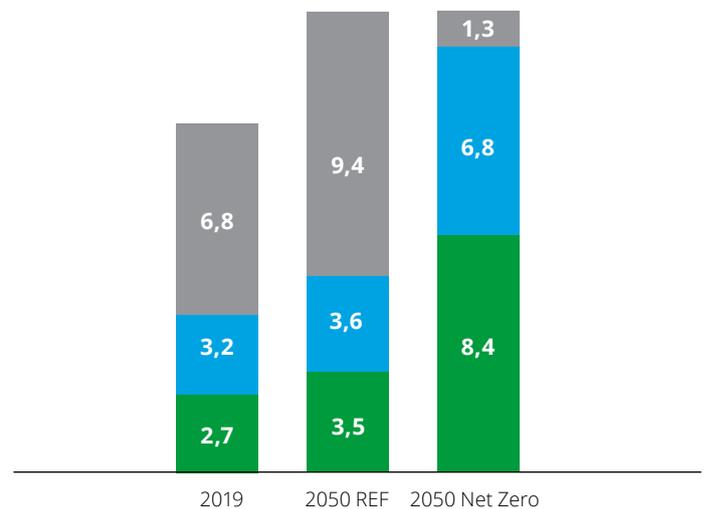
**Figura 27: Consumo final de energia – setor agrícola** (Milhões de TEP)



### Legenda

■ REF ■ Cenário Net Zero

**Figura 28: Emissões diretas – setor agropecuário** (MtCO<sub>2</sub>eq.)



### Legenda

■ Eletricidade ■ Biomassa  
■ Derivados de petróleo ■ Gás natural

Fonte: Análise da Deloitte

39 Fonte: "Máquinas agrícolas, inovações e tendências para 2030" - INTA

### Substituição de combustíveis no setor industrial

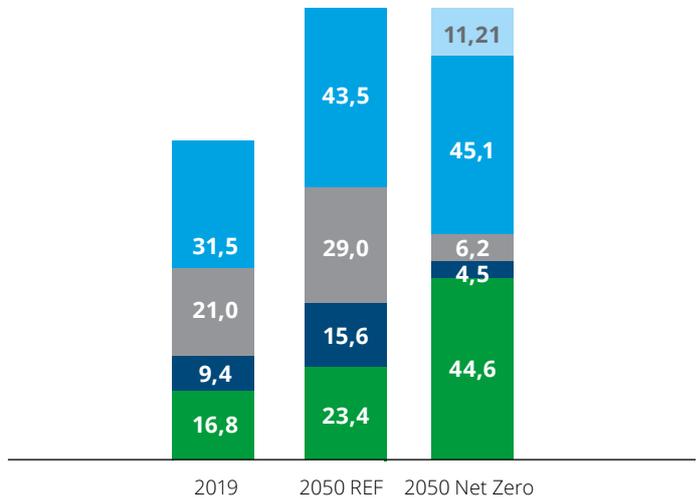
A substituição de motores e luzes, a penetração do hidrogênio verde como vetor de descarbonização e a mudança nos métodos de produção, permitem significativas possibilidades de redução de emissões de GEE para os horizontes 2030/2050 a partir da substituição de combustíveis. Maior aproveitamento de resíduos industriais para geração de eletricidade a partir de biomassa, uso de hidrogênio verde em substituição aos processos industriais ou maior eletrificação de processos baseados em geração livre de emissões, são alternativas de energia limpa que a indústria pode explorar e, assim, reduzir a intensidade das emissões geradas pelo seu consumo de energia.

A implementação de medidas tendentes a melhorar a eficiência energética na indústria permitiria às empresas reduzir custos substanciais, conseguindo uma otimização da utilização de energia e ao mesmo tempo contribuindo para o combate às alterações climáticas. A mudança tecnológica para equipamentos mais eficientes também permitiria avanços significativos em termos de intensidade energética e emissões.

Um processo de descarbonização bem-sucedido no setor industrial que consiga estabilizar as emissões à medida que a industrialização avança exigiria a adaptação gradual dos processos industriais locais à vanguarda tecnológica em nível global, especialmente em setores intensivos em emissões de GEE. A reconversão tecnológica (incluindo substituição de matérias-primas) aos novos padrões internacionais que incorporam uma visão ambiental, permitiria não só reduzir a intensidade das emissões, mas também estabilizá-las em termos absolutos.

A implementação das medidas identificadas para a indústria permitiria alcançar uma redução das emissões totais - por consumo de energia e processos - de 75% no **Cenário Net Zero** até 2050 em relação ao cenário de referência. Ao mesmo tempo, seria possível avançar na industrialização sustentável com consequente diminuição da lacuna existente em intensidade energética quando comparamos o Brasil aos países industrializados.

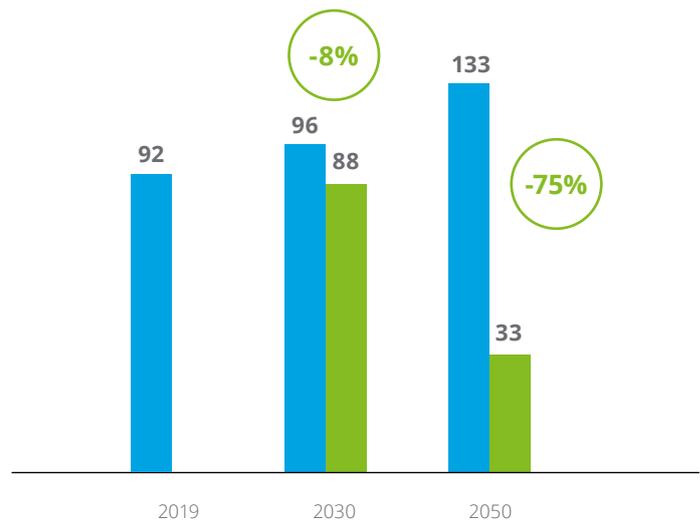
**Figura 29: Consumo final de energia – setor industrial** (Milhões de TEP)



**Legenda**

- Eletricidade
- Derivados de petróleo
- Biomassa
- Gás natural
- Hidrogênio

**Figura 30: Emissões diretas – setor industrial** (MtCO<sub>2</sub>eq.)



**Legenda**

- REF
- Cenário Net Zero

Fonte: Análise da Deloitte

## Substituição de combustíveis no setor de transportes

As emissões globais de GEE do setor de transporte estão crescendo, na maior taxa desde 1970<sup>40</sup>. Uma das razões é o aumento da motorização à medida que cresce o PIB per capita. Para mitigar potenciais emissões do setor, são identificadas quatro linhas de ação. Em primeiro lugar, políticas tendentes a reduzir a intensidade energética dos veículos e, juntamente com elas, medidas que tendem a restringir a intensidade de carbono por combustível. A maior eficiência, de qualquer forma, será insuficiente, razão pela qual é necessário avançar para modos de mobilização livres de emissões, como os veículos elétricos e a mudança modal para o trem, especialmente para o transporte de cargas. Por fim, há oportunidades importantes para aumentar o uso do transporte público, ou modificar comportamentos que promovam o uso da bicicleta, compartilhar o uso do veículo ou reduzir a necessidade de deslocamento, como o trabalho remoto.

O desenvolvimento do Battery Electric Vehicle (BEV) é o compromisso mais importante para descarbonizar o setor dos transportes. Tendo atingido vendas globais de 3 milhões de unidades, como aponta a IEA em seu relatório "Global EV Outlook 2022", a meta proposta por vários países é atingir uma penetração de 30% até 2030 e 60% até 2050. Uma estratégia de alta penetração de BEV exigirá mudanças substanciais na infraestrutura necessária para seu uso.

Em um cenário sem incentivos monetários do Estado, ou restrições à circulação de carros com motores de combustão interna, isso significaria uma penetração muito baixa do VE nos primeiros anos.

Para alcançar uma curva de adoção acelerada de BEV, deve-se seguir uma política de promoção do veículo elétrico, com incentivos à adoção da tecnologia e restrição da circulação de carros de combustão interna, e, em particular, promover a eletromobilidade no transporte público de passageiros, bem como o uso de veículos não motorizados. Como consequência, no **Cenário Net Zero** uma curva de penetração de mercado acelerada é alcançada para carros particulares, atingindo uma participação de mercado de 10% até 2030 e uma participação de 51% até 2050. Um mecanismo de supercrédito que vincule os fabricantes de automóveis a uma certa cota de créditos de veículos com emissão zero, como os adotados na China, Califórnia e Canadá, poderia ser muito eficaz para aumentar a mobilidade sustentável. Outras possibilidades incluem a introdução de requisitos de instalação de pontos de carregamento em edifícios novos e existentes. A taxa de penetração nas novas vendas do EV privado é mostrada a seguir.

Se analisadas as tendências do custo nivelado da energia e do preço das baterias, podemos concluir que, em um futuro próximo, seria economicamente viável a possibilidade de introdução de uma nova tecnologia como o BEV na frota brasileira de veículos, o que permitiria a reconversão dos consumidores face a uma tecnologia mais competitiva.

No Cenário Net Zero, a taxa de penetração dos ônibus elétricos em 2030 é de 41%, enquanto em 2050 estima-se uma taxa de penetração dos ônibus elétricos de 99%.

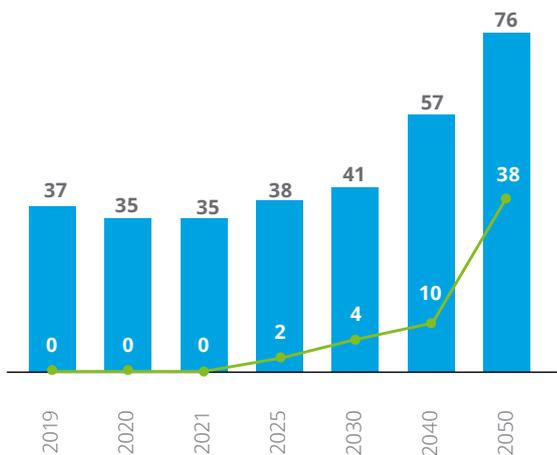


Fonte: Michael Fourset, Unsplash

40 Fonte: IPCC - [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter8.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf)

**Figura 31: Eletrificação de veículos particulares** (em milhões)

Cenário Net Zero



Legenda

- Frota total
- Veículos elétricos

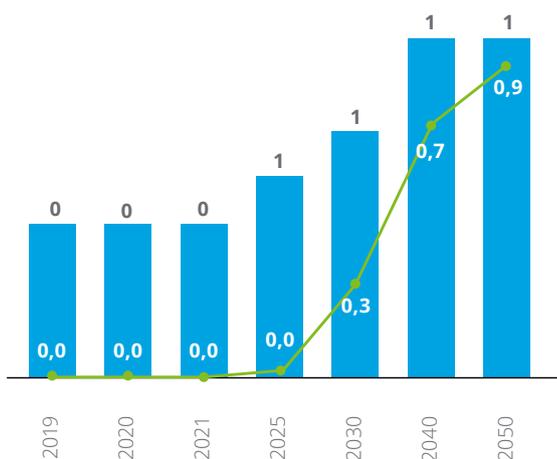
**Figura 32: Veículos particulares** (% passageiros - km.)



Legenda

- Derivados de petróleo
- Veículos elétricos

**Figura 33: Eletrificação dos ônibus** (em milhares)



Legenda

- Frota total
- Veículos elétricos

**Figura 34: Ônibus** (% Passageiros - Km.)



Legenda

- Derivados de petróleo
- Veículos elétricos

Fonte: Análise da Deloitte

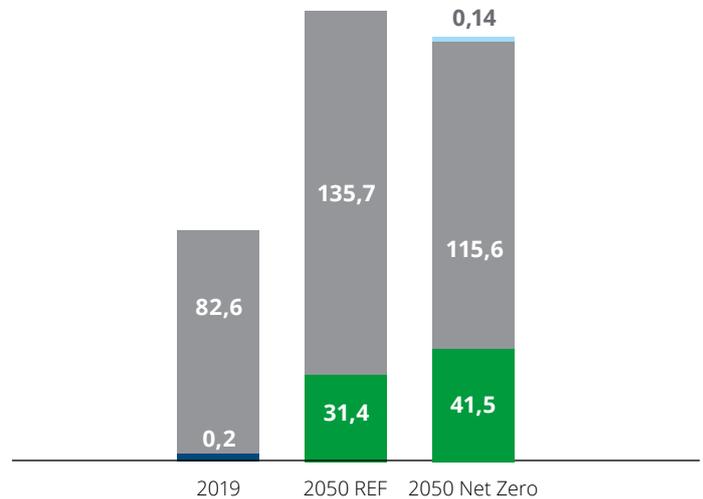
No que diz respeito ao transporte de cargas, as medidas visam promover a redução do uso de diesel como combustível, incluindo a utilização do hidrogênio verde como vetor de descarbonização. Não há eletrificação em rodovias de carga, pois o modelo não a otimiza para eficiência de custos. A incorporação do hidrogênio ocorre a partir de 2030 com um consumo do setor de transportes de 0,0024 Milhões de TEP, chegando a 0,14 Milhões de TEP até 2050.

Para o setor de transporte de passageiros e carga (naval e aéreo), as medidas de mitigação estão focadas em tornar as tecnologias existentes mais eficientes, a fim de alcançar a redução do consumo de combustíveis fósseis.

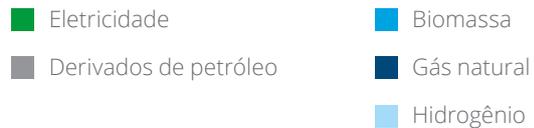
Em suma, todas essas medidas nos permitem reduzir a demanda de energia em 52% no **Cenário Net Zero** para o ano de 2050 em relação ao cenário de referência.

Em relação às emissões de gases, espera-se uma redução direta de 165,2 MtCO<sub>2</sub>eq. no **Cenário Net Zero** em relação aos valores projetados no cenário de referência para 2050.

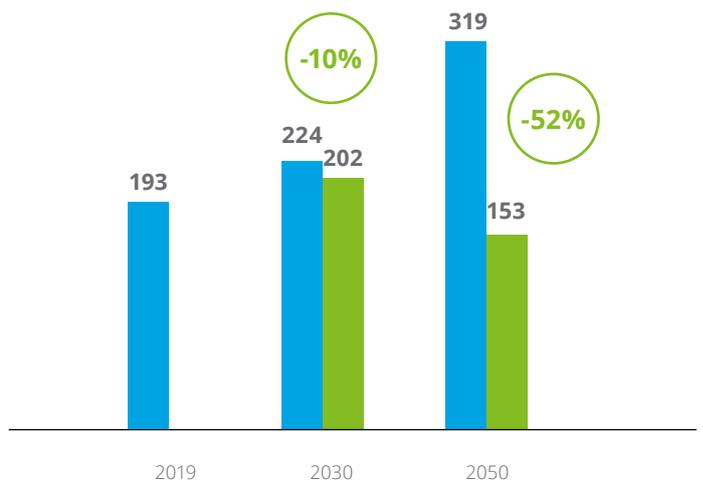
**Figura 35: Consumo final de energia – setor de transporte** (Milhões de TEP)



**Legenda**



**Figura 36: Emissões diretas – Setor de transporte** (MtCO<sub>2</sub>eq.)



**Legenda**



Fonte: Análise da Deloitte

## O papel do hidrogênio verde na descarbonização do Brasil

### Introdução do hidrogênio verde como fonte de energia limpa

Hidrogênio Verde é a maior reserva de combustível não poluente do mundo. Esse gás pode ser gerado a partir de fontes renováveis, armazenado e utilizado, por meio de células de combustível, para gerar eletricidade sem poluir. Nesse sentido, o hidrogênio verde permite uma verdadeira integração das energias renováveis em todos os setores: energia elétrica, transporte, gás, indústrias pesadas estratégicas como mineração, fertilizantes verdes, refinarias, etc., sendo um importante ator na busca pela descarbonização em setores energo intensivos em que a eletrificação não demonstra-se economicamente viável.

No caso do Brasil, que vem trabalhando há anos na transformação da matriz energética através do uso de fontes renováveis de energia, a introdução do hidrogênio verde está principalmente sujeita à redução dos custos associados ao processo de produção

(eletrólise da água). Nesse sentido, espera-se que o hidrogênio verde atinja a paridade econômica em 2030: o custo nivelado estimado para o hidrogênio azul está entre 1,4 e 1,8 USD/kg, enquanto para o hidrogênio verde esse valor pode ser entre 1,5 USD/kg para projetos off-grid de cerca de 1 GW de energia eólica e entre 1,6 e 2,7 USD/kg para projetos on-grid de até 100 MW <sup>41</sup>. Isso facilitaria a adoção de tecnologias de hidrogênio e seu uso em massa, especialmente para a indústria e mobilidade.

### Contexto Nacional

O Programa Nacional de Hidrogênio (PNH2), preparado em Julho de 2021, tem como objetivo desenvolver e consolidar o mercado de hidrogênio no Brasil e a inserção internacional em bases economicamente competitivas, por meio da inclusão do hidrogênio como tema prioritário para investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação. O PNH2 está estruturado em seis eixos. O trabalho em todos os casos deve prever ações com o objetivo de promover a comunicação com a sociedade e os agentes interessados, mesmo sem esclarecer os riscos e benefícios relacionados ao hidrogênio.



41 Custos de geração de energia renovável IRENA em 2021. (<https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>)

## Hidrogênio Verde – desafios e oportunidades

O avanço da demanda mundial por hidrogênio verde poderá atrair uma série de oportunidades de negócios para o Brasil, destacando-se como potencial fornecedor internacional.

### OPORTUNIDADES:

- Mercado em ascensão
- Bom posicionamento geográfico para exportação
- Diferentes rotas tecnológicas: oportunidades para as indústrias de petróleo e gás, renováveis, biocombustíveis, nuclear, elétrica e outras
- Resolução CNPE nº 2/2021, que identifica o hidrogênio como um dos temas prioritários para a alocação de recursos profissionais e econômicos pela ANEEL e pela ANP.
- Resolução CNPE nº 6/2022, que cria o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio e Portaria de pessoal nº 164/2022 que designa os representantes do Comitê

### DESAFIOS:

- Criação de demandas domésticas e internacionais de longo prazo
- Fontes de financiamento e de fomento para implantação efetiva de projetos e infraestrutura
- Desenvolvimento e redução de custos de infraestrutura de hidrogênio
- Perspectivas tecnológicas de sua produção, armazenamento e logística
- Normas para uma certificação de origem

### PROJETOS EXISTENTES

- Polo de Hidrogênio Verde do Estado do Ceará no Porto de Pecém
- Porto de Suape, em Pernambuco
- Porto do Açú no Estado do Rio de Janeiro
- Porto do Aratu - Camaçari, na Bahia
- Porto do Rio Grande do Sul: Projetos dessa natureza com participação local ajudam a criar negócios de alta qualidade, oferecendo oportunidades de desenvolvimento econômico de curto prazo e benefícios de longo prazo

## O papel assumido pelo hidrogênio verde na Transição Energética para o Brasil até 2050 - Resultados

Uma das principais novidades que este estudo traz é o aprofundamento que vem sendo dado à análise do hidrogênio verde como vetor de descarbonização. Nesse sentido, incorporamos esse insumo como uma realidade que se materializa com maior força no **Cenário Net Zero**, uma vez que as tendências atuais do mercado começam a olhar com mais otimismo para a viabilidade de desenvolvimento dessa fonte energética.

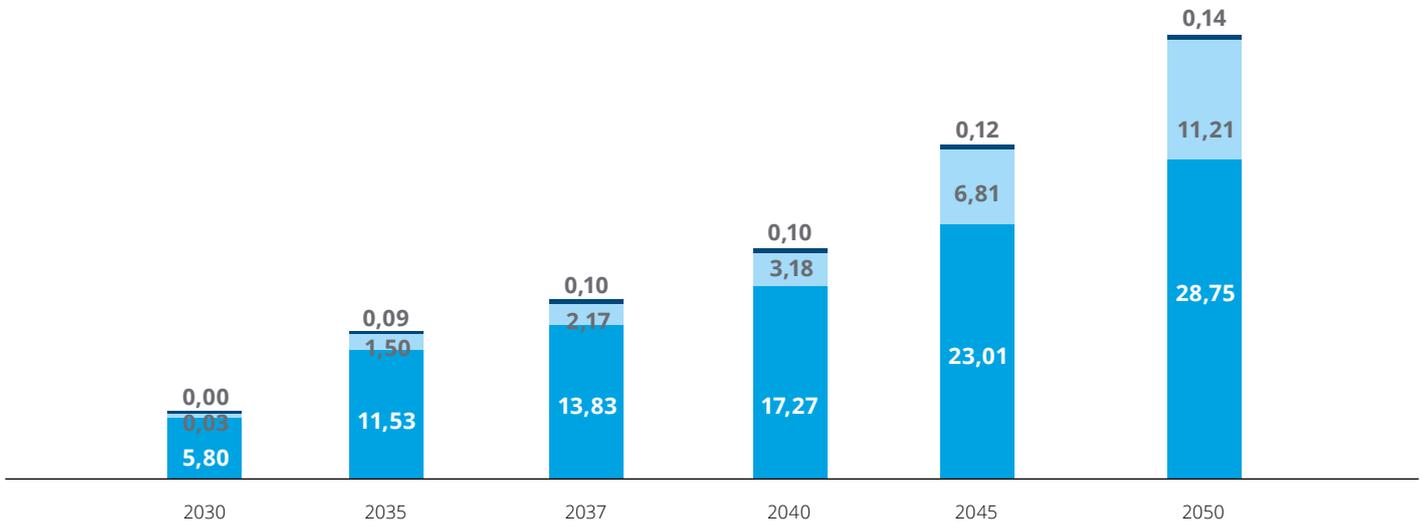
Considerando as projeções de custos deste insumo e as próprias restrições do modelo decorrentes de um nível de ambição compatível com o alcance do objetivo de otimizar os resultados das reduções até 2050, o hidrogênio verde apresenta-se como uma solução custo-eficiente para aqueles setores ditos difíceis de descarbonizar (principalmente os relacionados à indústria e transporte de cargas pesadas).

Desta forma, o modelo nos dá como resultado para o **Cenário Net Zero**, uma produção total para 2050 de 40 milhões de TEP.

Em relação ao uso do hidrogênio verde como vetor de descarbonização, ele é utilizado no setor industrial (11,21 milhões de TEP até 2050) e no setor de transporte pesado (0,14 milhão TEP até 2050).

Além disso, o modelo contempla o potencial do Brasil como exportador de hidrogênio verde. De acordo com o **Cenário Net Zero**, 29 milhões de TEP até 2050 serão destinados à exportação.

**Figura 37: Consumo Interno + Exportações de Hidrogênio Verde** (Milhões de TEP)



**Legenda**

- Exportação
- Consumo para a indústria
- Consumo para transporte

Fonte: Análise da Deloitte

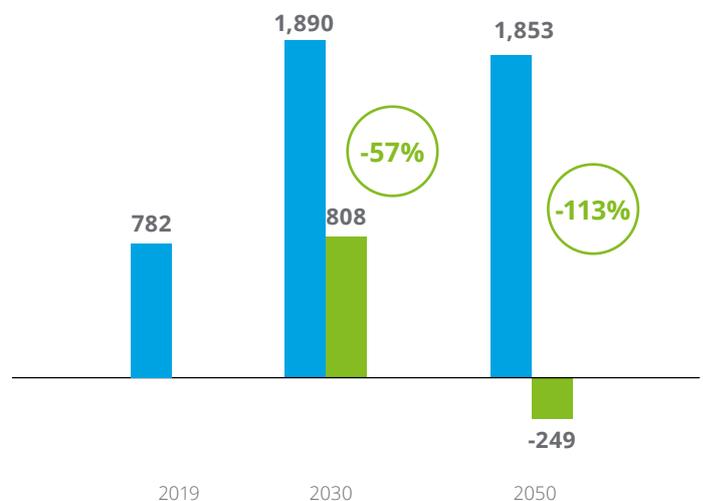
**Incentivo a modelos de produção sustentáveis – setor não energético**

O setor “não energético” compreende os seguintes ramos:

- Pecuária, silvicultura e outros usos da terra
- Tratamento de esgoto
- Fugitivas e de processo industrial

Dada a relevância do setor não energético na constituição de sumidouros de carbono que permitem atingir a neutralidade de carbono até 2050, propõem-se fortes medidas de mitigação. Enquanto, no cenário de tendência, é esperado um aumento do nível de emissões até 2050 (chegando a um total de 1.853 MtCO<sub>2</sub>eq.), no **Cenário Net Zero**, as medidas disruptivas chegam a atingir um potencial de captura de 248,7 MtCO<sub>2</sub>eq., compensando assim o emissões remanescentes do setor de energia.

**Figura 38: Emissões – setor não energético** (MtCO<sub>2</sub>eq.)



**Legenda**

- REF
- Cenário Net Zero

Fonte: Análise da Deloitte

## Setor Agricultura, pecuária e outros usos da terra

A pecuária e o uso da terra, juntamente com outras atividades relacionadas à agricultura, compõem todo o setor que chamamos de AFOLU, que registrou um nível líquido de emissões de 0,2 MtCO<sub>2</sub>eq. em 2019. O **Cenário Net Zero** propõe reduções de emissões relacionadas ao setor pecuário e aumento acelerado do potencial de sequestro de carbono, principalmente por meio de medidas de impacto florestal, atingindo um potencial líquido de sequestro de carbono de 6,3 MtCO<sub>2</sub>eq.

## Pecuária

Em 2019, o setor pecuário foi responsável pela emissão de 450 MtCO<sub>2</sub>eq.<sup>42</sup> Se esses níveis continuarem com a mesma tendência de crescimento, projetando-se para 2030 e 2050, os níveis de emissão seriam em torno de 1.087 e 1.065 MtCO<sub>2</sub>eq., respectivamente.

No que diz respeito às emissões ligadas à atividade pecuária, os esforços em diferentes alavancas através de diversas medidas de gestão da pecuária ajudam a alcançar resultados mais favoráveis do que os refletidos no cenário de tendência. Dessa forma, o **Cenário Net Zero** apresenta reduções de 57% e 98% em 2030 e 2050, respectivamente, em relação aos níveis do cenário de referência.

Essas reduções são alcançadas, conforme observado acima, por meio da implementação de medidas sistêmicas, ambiciosas e estratégicas de mitigação que abrangem todo o subsetor. A promoção de boas práticas e o aprimoramento de processos por meio do desenvolvimento de planos e programas públicos de extensão rural é essencial para atingir esses objetivos.

**Figura 39: Emissões - subsetor pecuário (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



### Legenda

■ Referência      ■ Cenário Net Zero

Fonte: Análise da Deloitte

<sup>42</sup> Este ano é uma projeção baseada nos dados de 2016 (último ano disponível do quarto inventário do Brasil) e respeitando os dados de emissões para o setor de energia, como declarado pela SIRENE. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>

### Usos da terra

O setor de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (USCUSS) gerou emissões totais de 257 MtCO<sub>2</sub>eq. em 2019.

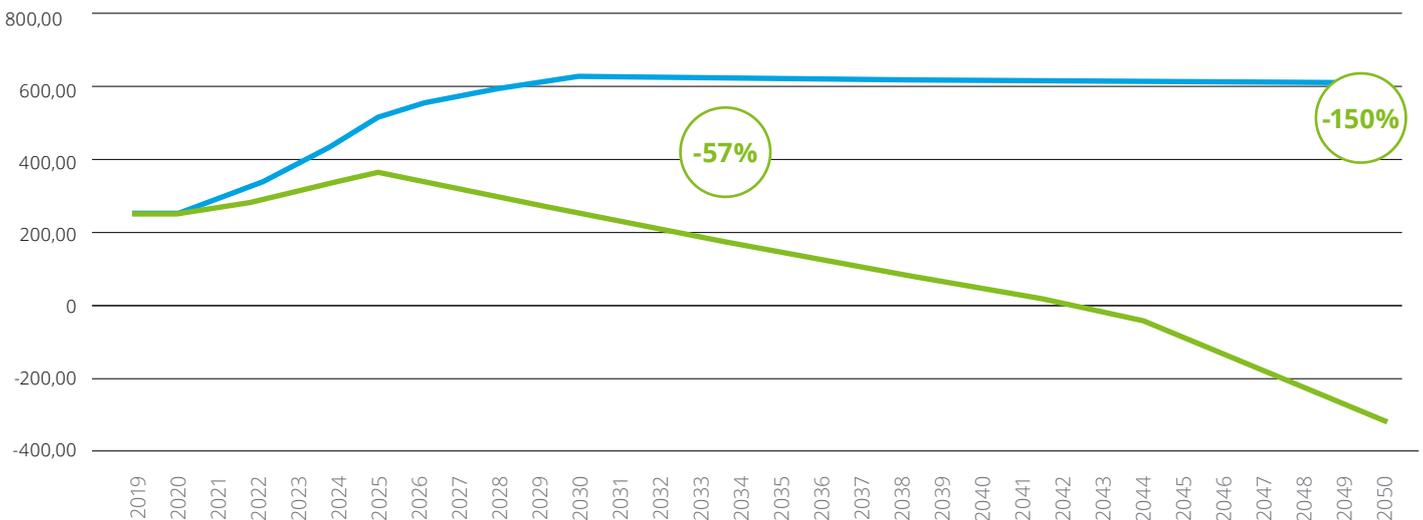
Por sua vez, no **Cenário Net Zero** são propostas medidas em torno da arborização, melhoria das pastagens e melhor uso da terra para cultivo que buscam aumentar o nível de captura, contribuindo para a descarbonização com potencial total de captura de -302 MtCO<sub>2</sub>eq. em 2050 e conseguindo absorver os remanescentes das emissões dos demais setores.

A redução do desmatamento e a promoção do aumento da área de plantios florestais são essenciais para o alcance das metas.

As medidas a serem implementadas no setor com o objetivo de alcançar a neutralidade carbônica no Brasil por meio da redução e absorção das emissões de GEE são apresentadas a seguir:

- **Manejo de culturas:** recuperação de terras utilizadas para atividade agrícola.
- **Manejo florestal sustentável:** mecanismos de conservação florestal em comunidades nativas, cessão de direitos fundiários não categorizados na Amazônia e maior intensidade no **Cenário Net Zero** por meio do desenvolvimento de programas de reflorestamento e sistemas agrofloresta.
- **Melhoria no manejo de pastagens.**

**Figura 40: Emissões - subsetor de outros usos da terra (MtCO<sub>2</sub>eq.)**



**Legenda**

■ Referência

■ Cenário Net Zero

Fonte: Análise da Deloitte

## Resíduos sólidos

As emissões de GEE do setor de resíduos somaram 74,5 MtCO<sub>2</sub>eq. em 2019 (representando 6% do total de emissões daquele ano), composto quase que inteiramente por emissões de metano. A principal fonte de emissão é a subcategoria “Descarte de resíduos sólidos” representando 56% das emissões do setor, seguida da subcategoria “Tratamento e descarte de águas residuais” com 39% e os restantes 5% de “Incineração e incineração aberta de resíduos”<sup>43</sup>.

Medidas de mitigação consideradas no Cenário Net Zero projetam uma redução das emissões do setor em 81% até 2050 em relação ao cenário de referência. Abaixo estão elencadas as referidas medidas:

- Recuperação de materiais e energia e valorização de resíduos através da reutilização, reciclagem, compostagem, coprocessamento. Deposição final de resíduos na respectiva infraestrutura através da implementação de tecnologias que permitam a redução de GEE.
  - Construção de aterros sanitários com tecnologia semi-aeróbica e com captação e queima centralizada de biogás.
  - Segregação de resíduos sólidos orgânicos para recuperação de materiais em usinas de compostagem.
  - Aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários para produção de energia.
- Aumento da cobertura atual dos serviços de saneamento, considerando tecnologias que permitam a redução das emissões de GEE nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETAR) como ou outros sistemas de cobertura, sistemas de instalação de geomembranas, tubagens de recolha de águas residuais, gás, digestores para tratamento de lamas, queimadores ou outras tecnologias.
  - Melhorar o tratamento de águas residuais e o controle de pressão nos serviços de água potável.
  - Construção de novas Estações de Tratamento de Efluentes (ETAR) para reduzir as lacunas no setor do saneamento.
  - Cobertura de lagoas anaeróbicas e queima de metano e instalação de digestores anaeróbicos de lodo de ETE para captação e queima de metano.
  - Uso de águas residuais tratadas e biossólidos.

## Análise de investimentos e custos no sistema

### Investimentos necessários durante o período 2019-2050

As mudanças propostas nos cenários exigirão investimentos incrementais em relação ao cenário de referência, que a valor presente chega a US\$ 408 bilhões<sup>44</sup>. Os investimentos abrangem todos os setores da economia, com destaque para a transformação da matriz elétrica e as políticas de mitigação vinculadas ao desenvolvimento da indústria, que se revelam as mais significativas em termos de gastos necessários.

A literatura recente produzida por diferentes organizações para o combate às mudanças climáticas, observa na fixação dos preços do carbono, ou nos chamados esquemas de Precificação do Carbono, que penalizam as emissões, uma poderosa alavanca política para apoiar a descarbonização e financiar os investimentos necessários para transição energética, ao mesmo tempo que estimula a competitividade, a criação de emprego e a inovação<sup>45</sup>. Globalmente, 68 instrumentos de precificação de carbono, incluindo impostos e sistemas de comércio de emissões (ETSs), estão em operação e mais três estão programados para implementação, cobrindo 23% das emissões globais<sup>46</sup>.

Do total de investimentos do **Cenário Net Zero**, esse projeto considera que uma parte será financiada através do Carbon Pricing. Em valores de 2019, estimamos que este mecanismo permitiria obter financiamento total de USD 318 mil milhões, o que equivale a dizer que 78% do investimento total poderia ser financiado pela precificação do carbono. Dessa forma, os investimentos líquidos seriam de US\$ 90 bilhões.

A análise custo-benefício por medida de mitigação tem em conta as seguintes variáveis:

- Custo de implementação dos pacotes de medidas
- Benefícios gerados pela poupança nos custos operacionais (derivados de um menor consumo de energia)
- Benefícios gerados pelo custo social do carbono<sup>47</sup>

Assim, tendo em conta o impacto económico destas variáveis, chegamos a um benefício médio por tonelada de CO<sub>2</sub> eq. de US\$10,4.

43 Segundo Relatório Bial de Atualização da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima”, Ministério do Meio Ambiente, Brasil

44 Todos os valores estão descontados para 2016, à taxa utilizada por organismos internacionais para países emergentes de 10%.

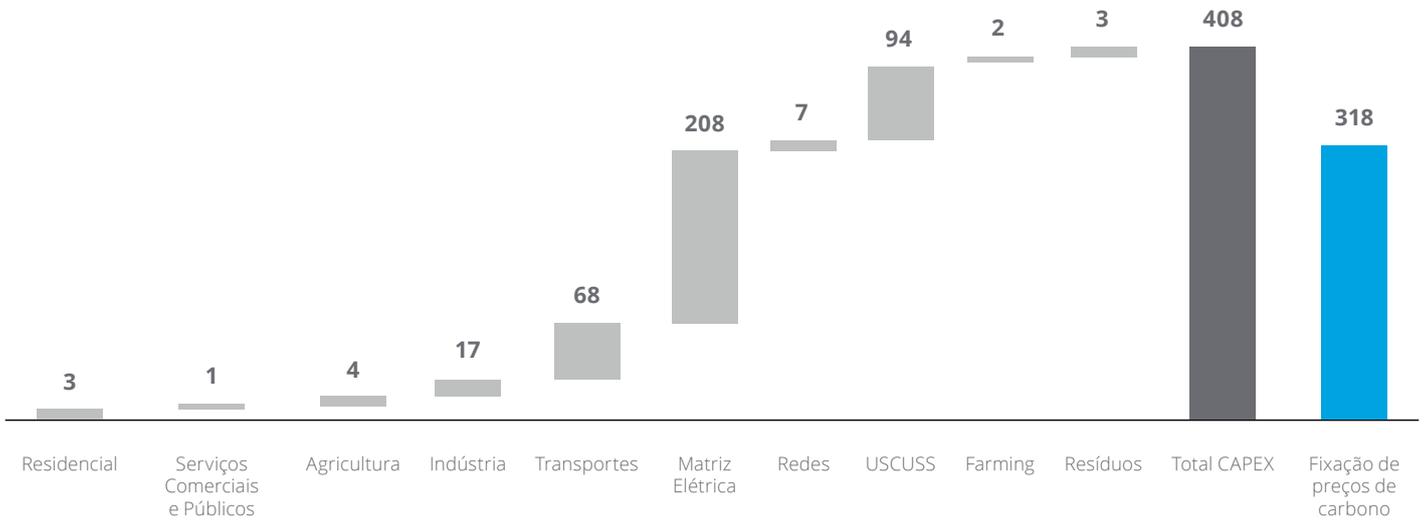
45 Fonte: Carbon Pricing Leadership Coalition (CPLC), uma aliança global lançada durante as negociações climáticas em Paris, com o objetivo de reunir apoio público e privado para a precificação do carbono em todo o mundo.

46 Fonte: “State and Trends of Carbon Pricing 2022” (May), World Bank, Washington, DC.

47 O custo social do carbono é entendido como o valor económico por tonelada de CO<sub>2</sub> eq. emissões adicionais evitadas.

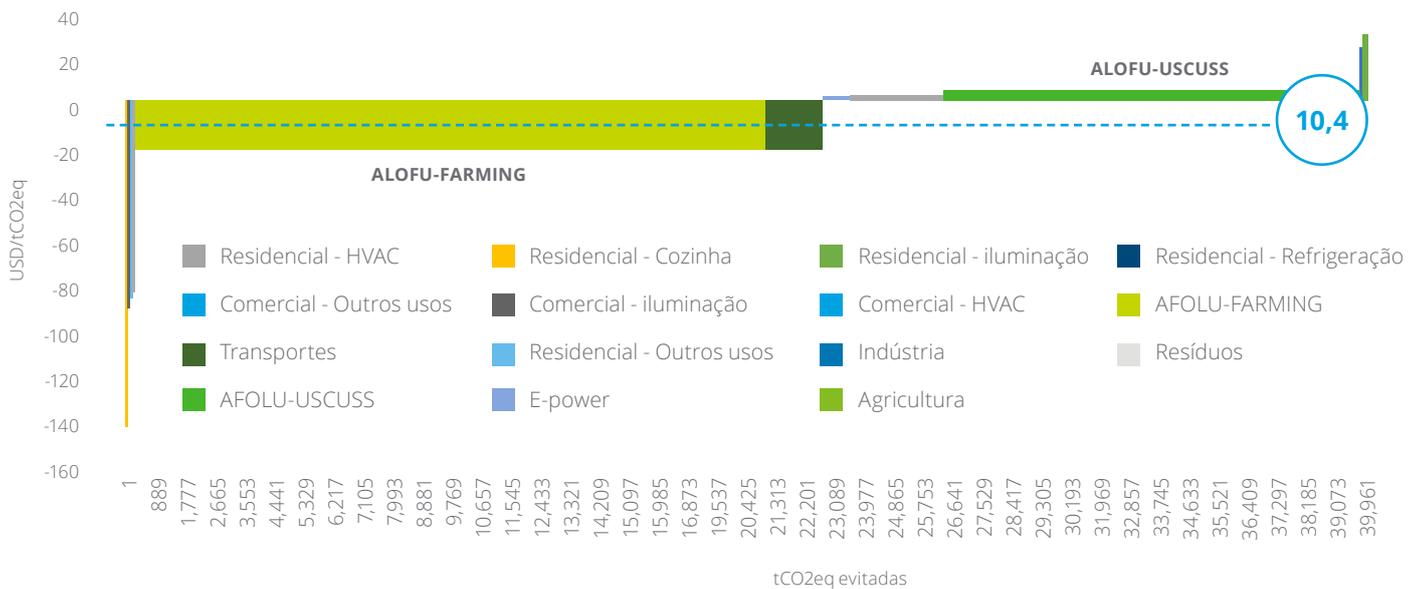
**Figura 42: CAPEX Total** (bilhões de USD)

**Cenário Net Zero**



Fonte: Análise da Deloitte

**Figura 43: Curva Média de Custo-Benefício (sinal negativo) por Medida/Setor** (USD/tCO<sub>2</sub>eq e em milhões de tCO<sub>2</sub>eq)



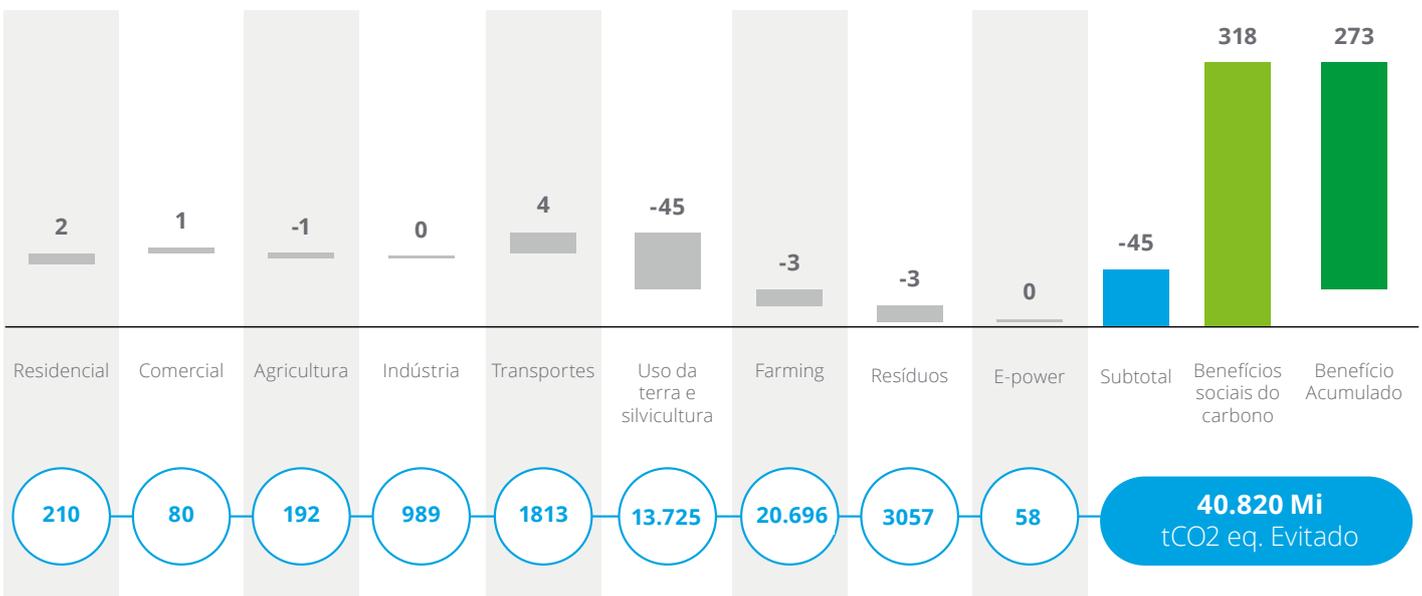
Fonte: Análise da Deloitte

## Benefícios da descarbonização

Os investimentos incrementais necessários para alcançar o cenário de neutralidade de carbono são mais do que compensados pelas economias alcançadas pela descarbonização. No **Cenário Net Zero**, o benefício líquido total para a economia no período 2019-2050 é de US\$ 273 bilhões em 2019. Isso se deve, por um lado, à economia de maior eficiência energética e, por outro, ao benefício gerado em termos de custos sociais de carbono evitados.

Como resultado, podemos concluir que o esforço necessário para atingir o objetivo de neutralidade carbônica até 2050 permite, por sua vez, alcançar benefícios líquidos totais em termos econômicos.

**Figura 44: Valor Presente Líquido (Bilhões de USD) e tCO<sub>2</sub>eq. evitado**



1 Valores positivos indicam benefícios líquidos e valores negativos indicam custos líquidos resultantes de medidas por sector, a um valor atual líquido descontado a uma taxa de 10%.

2 Não considera a utilização de redes inteligentes para reduzir os picos de procura.

3 O custo social do carbono refere-se ao valor económico por tonelada adicional de CO<sub>2</sub>eq. de emissões evitadas. Calculado a 44 USD por tCO<sub>2</sub>eq.

## O caminho para uma transição justa

O Acordo de Paris reconhece a necessidade de uma transição rápida e equitativa para os trabalhadores e a comunidade.

A transição aumentará a prosperidade e pode ser um fator-chave para a criação de empregos. Envolve tanto o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) nº 8, que busca promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego e o trabalho decente para todos, quanto o ODS nº 13, focado na adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas. efeitos.

Alcançar o Objetivo nº 8 implica a criação de +600 milhões de novos empregos até 2030, acompanhando a taxa de crescimento da população mundial em idade ativa. A mudança climática descontrolada pode reverter os ganhos em prosperidade econômica, progresso social e redução da pobreza.

A redução das emissões de GEE implica mudanças dentro e entre os setores econômicos, bem como mudanças entre as diferentes regiões em nível global. Uma transição global para uma economia de baixo carbono e sustentável tem efeitos positivos e negativos sobre o emprego. No geral, a produção e o emprego em indústrias e serviços descarbonizados crescerão, enquanto os setores intensivos em energia e recursos provavelmente estagnarão ou contrairão. Isso resultará em:

- **Criação de empregos a partir da** expansão de produtos, serviços e infraestrutura de baixo carbono;
- **Substituição de empregos** em função de mudanças na economia em termos de eficiência, menos poluição nos processos produtivos e descarbonização;
- **Eliminação de empregos** quando as atividades econômicas poluidoras, intensivas em energia e materiais são reduzidas ou eliminadas completamente;
- **Transformação e redefinição de empregos** quando as práticas de trabalho diárias, conjuntos de habilidades, métodos de trabalho e perfis de trabalho são respeitados;

Outra dimensão que é importante levar em conta junto com a mudança no número de empregos é a qualidade do emprego. Os empregos criados na transição devem ser “decentes”, ou seja, devem proporcionar renda e proteção social adequadas, condições de trabalho seguras, respeito aos direitos no trabalho e diálogo social. Além disso, os direitos dos trabalhadores devem garantir que homens e mulheres tenham oportunidades iguais,

sejam protegidos contra a discriminação e tenham acesso a políticas de licença maternidade e paternidade.

A escala e o escopo dessas mudanças dependem da velocidade e amplitude das mudanças tecnológicas e de mercado na transformação verde. Tais impactos devem ser mitigados por meio da criação de políticas de transição justa para os trabalhadores afetados e sua comunidade<sup>48</sup>.

Segundo a Organização Internacional do Trabalho, na América Latina, a descarbonização pode gerar 15 milhões de empregos líquidos na região até 2030: resultado de 22,5 milhões de empregos criados e 7,5 milhões de empregos eliminados<sup>49</sup>.

Com base no estudo realizado, estima-se que a transição energética do Brasil gerará 7.981.517 empregos líquidos (dentro e fora do país, dependendo da natureza de cada setor), a partir da criação de 11.975.268 novos empregos até 2050, dos quais 8.380.892 na construção civil, 1.795.906 na mineração de cobre (impacto gerado fora do Brasil), outros 1.198.125 serão relacionados a energias renováveis e os 600.345 restantes serão de fabricação de material elétrico (o que poderá impactar a mão de obra nacional, no caso de desenvolvimento da indústria no Brasil). Por outro lado, 3.420.772 empregos, especialmente relacionados à cadeia de valor ligada ao petróleo e combustíveis fósseis (2.945.664 empregos afetados, principalmente fora do país devido à natureza da cadeia de valor) e à mineração e geração de eletricidade a carvão (562.979), será ameaçado<sup>50</sup>.

No caminho para uma transição justa, as melhores práticas impostas em nível global devem ser identificadas. A questão da competitividade internacional deve ser abordada por meio da precificação do carbono e ajustes de impostos nas fronteiras.

48 Just Transition of the Workforce, and the Creation of Decent Work and Quality Jobs”, Technical Paper, United Nations.

49 Emprego em um futuro de emissões líquidas zero na América Latina e no Caribe”, Organização Internacional do Trabalho

50 Deloitte com base no que foi publicado pela Organização Internacional do Trabalho em seu artigo “ Emprego em um futuro de zero emissões líquidas na América Latina e no Caribe

Três recomendações que levam a uma transição energética justa para todos<sup>51</sup>:

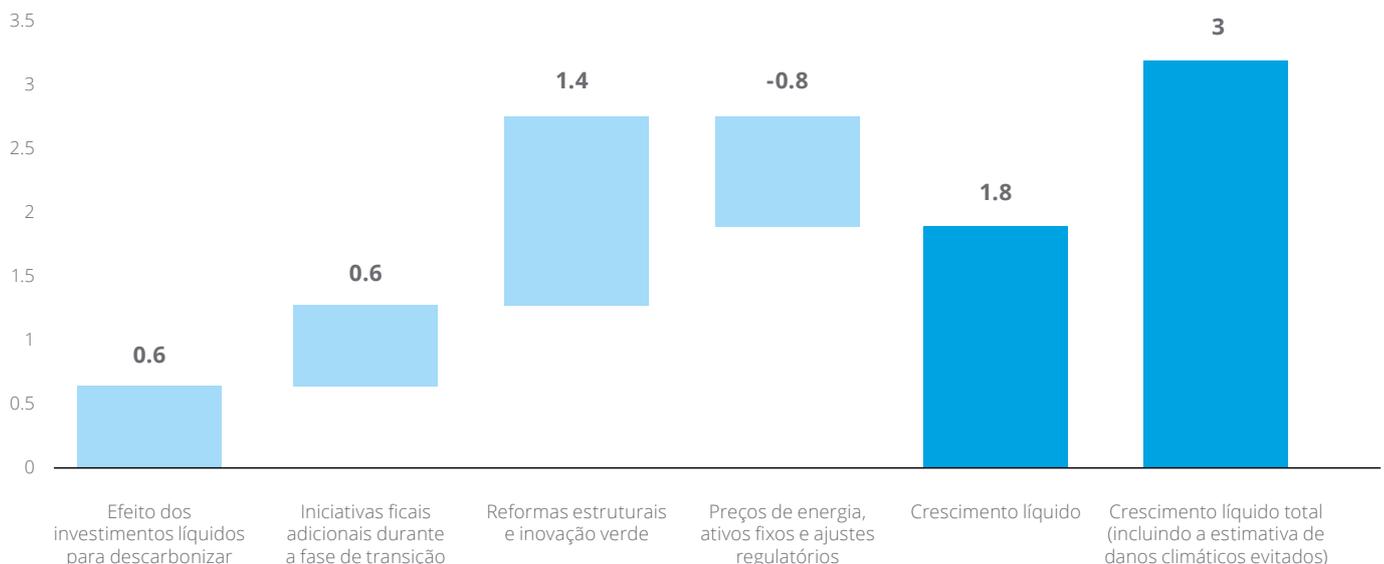
1. Apoiar a incorporação de tecnologias elétricas através de Títulos de Investimento de Transição Energética, Clusters Nacionais de Energia em tecnologias de eletrificação, esquemas financeiros inovadores para tecnologias maduras, Conscientização.
2. Gerir o emprego e as oportunidades através de medidas sociais para os trabalhadores (por exemplo, reforma antecipada), novos programas educativos (por exemplo, economia circular) e o desenvolvimento e implementação de programas de formação.
3. Promover uma redistribuição justa dos custos de transição, revisando os componentes de custo na conta de luz e/ou removendo impostos/taxas indevidas da conta de luz.

Uma transição justa enfatiza uma abordagem participativa para a sustentabilidade ambiental e social. O diálogo social que dá voz às preocupações e necessidades dos trabalhadores, empregadores e comunidades afetadas pela transição para emissões líquidas zero ajuda a construir confiança e construir consenso.

### Impacto no PIB das medidas de mitigação

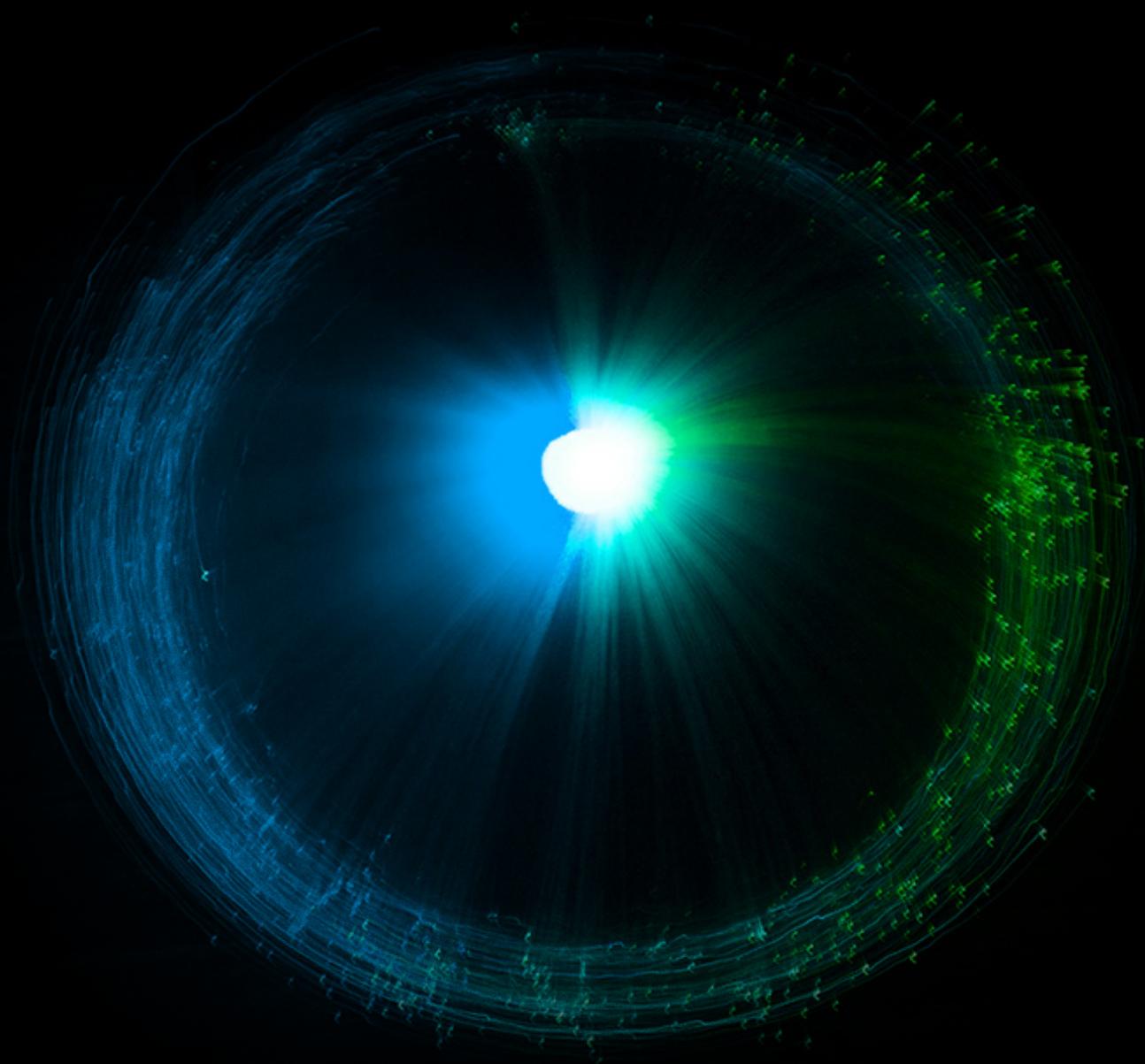
A combinação de reformas econômicas com políticas climáticas ambiciosas pode estimular o crescimento econômico ao mesmo tempo em que mobiliza o investimento necessário para atingir as metas climáticas de longo prazo. Os resultados sugerem que uma “transição decisiva” coletiva pode levar a um crescimento econômico de até 3% se for considerado o impacto dos danos climáticos evitados.

**Figura 46: Efeitos positivos no PIB do Brasil até 2050**  
(diferença vs. REF)



Fonte: análise Deloitte em base a Organización Internacional del Trabajo - “El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe”, OECD “Investing in Climate, Investing in Growth” y “Just E-volution 2030 Study; Enel, Enel Foundation, The European House – Ambrosetti, 2019

51 Análise da Deloitte baseada no “Just E-volution 2030 Study; Enel, Fundação Enel, The European House – Ambrosetti, 2019



# Recomendações de política energética para descarbonização sustentável

A partir da análise da visão de longo prazo do modelo energético brasileiro para 2050 e período de transição, propõe-se um conjunto de políticas a serem consideradas para direcionar o Brasil para uma descarbonização eficiente.

Em primeiro lugar, propõe-se determinar objetivos vinculativos de descarbonização para 2030 e 2050 em todas as áreas que tenham impacto nos níveis de demanda de energia, mantendo uma matriz de geração e transformação de energia limpa e no setor não energético. Dentro de cada categoria, o nível de cada subsetor deve ser visado com políticas específicas que modifiquem e alterem as condições, funcionamento e níveis de eficiência, entre outras questões, para atingir os objetivos estabelecidos no âmbito da redução de gases de efeito estufa.

## "Propõe-se determinar objetivos vinculativos de descarbonização para 2030 e 2050 por setor"

Espera-se que esses objetivos e políticas relacionadas sirvam de guia para as entidades reguladoras no sentido de incentivar a descarbonização em nível nacional, com a contribuição dos diferentes agentes econômicos e consumidores de energia.

Abaixo está um resumo das recomendações incluídas nesta seção.

**Figura 47: Recomendações de política energética para direcionar nosso modelo energético para a descarbonização**

<p><b>Eletrificação e eficiência energética</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Promover medidas e políticas relacionadas com o aumento da eficiência energética em todos os setores.</li> <li>2. Implementar sistemas de gestão de energia.</li> <li>3. Aprofundar as políticas de rotulagem e os padrões mínimos.</li> <li>4. Lançar um programa abrangente de educação em eficiência energética.</li> <li>5. Mobilidade elétrica.</li> <li>6. Iluminação Pública: Led</li> </ol>	<p><b>Geração da eletricidade</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acelerar a transição energética para uma matriz de geração de eletricidade livre de emissões.</li> <li>2. Implemente o armazenamento para aumentar os benefícios e o uso de energia renovável no nível de sistema.</li> <li>3. Desenvolver uma regulamentação que estimula os investimentos necessários nas redes.</li> <li>4. Aproveitando o desenvolvimento de energias renováveis para geração de hidrogênio verde.</li> </ol>	<p><b>Preço do Carbono</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desenvolva o sinal de preço que reflita o custo social do carbono, por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar o imposto de carbono sobre os combustíveis para refletir o custo das emissões.</li> <li>• Introduzir um mercado de carbono com limites de emissão para segmentos que não podem substituir combustíveis, ou com emissões não relacionadas à energia.</li> </ul> </li> </ol>	<p><b>Infraestrutura e Redes</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acelere a implementação de medidores inteligentes.</li> <li>2. Digitalize a matriz de energia elétrica.</li> <li>3. Projete uma estrutura tarifária que represente preços adequados para impulsionar a demanda.</li> <li>4. Busque integração entre distribuidoras e operadoras de energia para otimizar a gestão matricial.</li> </ol>
---	---	---	--

## Recomendações para geração de eletricidade a partir de uma matriz verde

No âmbito do Acordo de Paris, propõe-se uma maior utilização da energia elétrica como fonte de energia, dado o potencial que o Brasil tem para o desenvolvimento desse recurso. De fato, o Brasil possui as condições necessárias para se tornar um dos mercados de energia renovável mais atrativos da América Latina, tendo em vista a grande variedade e disponibilidade de recursos naturais que proporciona uma diversidade de características geográficas e microclimas que podem favorecer o desenvolvimento de diferentes tipos de tecnologias.

O cumprimento dos objetivos de neutralidade de carbono até 2050 representa um esforço de mudança da composição da matriz energética, suportando a geração necessária para atender às novas demandas, produto do crescimento populacional, maior nível de atividade econômica ou maior participação de energia elétrica no consumo total de energia, em consonância ao desenvolvimento, especialmente, de energias renováveis não convencionais.

Em relação ao desenvolvimento da matriz energética, entendemos que o objetivo a ser alcançado pelo Brasil seja o desenvolvimento de uma matriz com ainda maior grau de penetração de energias renováveis, alavancada principalmente pelo desenvolvimento da energia eólica e solar, cuja participação deve chegar a 76% da geração total até 2050.

Por sua vez, ao se considerar um projeto de matriz custo-eficiente que consiga responder à demanda de energia elétrica, o resultado do exercício de modelagem sugere a necessidade de desenvolver o potencial de geração distribuída, atingindo uma potência total instalada de 151,35GW de energia solar.

Todas estas medidas ocorrerão num quadro de aumento da procura energética, onde a eletrificação dos usos finais deverá atingir uma quota de 44% do consumo final de energia, passando de um consumo total de 44,10 milhões de toneladas equivalentes de petróleo no ano base para 153,41 milhões em 2050.

Por sua vez, este crescimento dos níveis de procura de energia, somado à necessidade de interligação das novas centrais eólicas e solares, exigirá um investimento total de USD 178 mil milhões<sup>52</sup>, o que permitirá expandir a rede num total de 349.088 km.

Em suma, para realizar todas essas transformações, recomenda-se trabalhar os seguintes pilares:

## Recomendação 1: Acelerar a Transição Energética para uma matriz de geração de eletricidade essencialmente renovável.

As tendências na produção e não utilização de energia devem ser avaliadas e estratégias alternativas definidas para a expansão do fornecimento de energia nas próximas décadas. Tal como desenvolvemos no capítulo anterior, esta expansão da geração pode encontrar apoio num crescimento da matriz energética impulsionado principalmente pelo investimento em energia solar e eólica, com base num critério de competitividade em termos de custos e procurando sempre maximizar os benefícios da transição energética.

Esse planejamento deve considerar o custo mínimo para o usuário, levando em consideração também o custo social das emissões de carbono. Para isso, será necessário monitorar e atualizar periodicamente o plano elaborado com base na evolução dos custos das tecnologias.

A configuração da matriz prevista deverá levar a uma reforma do mercado atacadista de eletricidade para remunerar competitivamente a produção, projetando um mercado de capacidade compatível com a elevada penetração esperada de energias renováveis variáveis. Entre as reformas, deve ser considerado se o custo marginal a curto prazo continua a ser um sinal de preço eficiente, não só para despachar a produção a um custo mínimo, mas também para expandir a oferta e introduzir novos mercados para o comércio ou licitação de energia, dependendo das mudanças no funcionamento do mercado atacadista.

52 Dólar constante 2019.

## **Recomendação 2: Promover o desenvolvimento de técnicas de armazenamento de energia solar e eólica como suporte ao desenvolvimento das energias renováveis, à melhoria da qualidade do serviço e à redução de custos.**

Os avanços na redução do custo de armazenamento de baterias (armazenamento de energia solar e eólica) foram significativos nos últimos anos e devem ser competitivos até 2030, ou antes, dependendo do preço dos combustíveis fósseis. Seu uso deve ser considerado em conjunto com a geração solar como uma capacidade firme para atender o pico de demanda anual.

A utilização deste tipo de baterias, muitas delas modulares e portáteis, deve ser promovida para:

- Nas centrais de tipo renovável, mitigar os efeitos da variabilidade dos recursos solares e eólicos na variação da produção deste tipo de central (mitigando assim os efeitos da alternância na qualidade do serviço elétrico e a necessidade de utilização de reserva rotativa de origem fóssil como alternativa). Para isso, devemos também destacar os avanços na eletrônica de potência que permitem resolver os desequilíbrios de alimentação praticamente em tempo real (automaticamente). Essa prática permitirá que esses tipos de usinas ofereçam maior firmeza em sua produção, favorecendo questões contratuais e aumentando seriamente seu fator de uso.
- Na Transmissão, substituindo o uso de geração forçada ineficiente devido a restrições nas redes de AT, pela disponibilidade de energia armazenada equivalente e resposta rápida devido ao uso de eletrônica de potência.
- Na demanda final, permitindo ao usuário fazer uso da energia armazenada em caso de variações na rede e poder participar do serviço de “resposta à demanda” (veja abaixo)
- Nesse setor, recomenda-se que a legislação contemple que os veículos elétricos possam devolver energia à rede no momento em que o sistema a requeira (ou em horários pré-estabelecidos) com tarifa diferenciada por faixas horárias e/ou emergência. Será necessário promover sistemas inteligentes de medição e eletrônicos que permitam essa operação.

Estas práticas tendem a reduzir os custos gerais de funcionamento do sistema, mas deve-se ter em conta que a autonomia da utilização das baterias é limitada, pelo que a regulamentação deve promover a redução dos tempos de interrupção e incentivar a eliminação de restrições ao transporte, por meio de políticas tarifárias que apontam nessa direção, caso contrário não será alcançado o desempenho técnico/econômico analisado com base nessas práticas.

Portanto, deve-se promover uma regulamentação que não contemple apenas um nível de remuneração para aquele usuário que possui sistemas de armazenamento que permitam o desenvolvimento, mas também que analise a evolução do sistema e sua inserção.

O foco deve ser colocado no fato de que o desenvolvimento de sistemas de armazenamento exigirá estudos técnicos e econômicos para definir os melhores módulos e tecnologias de armazenamento, mas deve ser coordenado com o desenvolvimento da matriz de geração.

De acordo com os resultados do nosso estudo, a utilização de baterias terá um papel fundamental na cobertura do pico de demanda, pelo que será necessário um forte investimento no desenvolvimento de tecnologias que permitam uma penetração mais agressiva, atingindo 157GW até 2050.

### **Recomendação 3: Promover técnicas de Gestão pelo lado da Demanda**

A Resposta à Demanda é um instrumento que consiste na gestão ativa da demanda por parte do consumidor final de energia, mediante sinalização de preços ou em função de um incentivo dedicado. Nesse sentido, gerenciamento pelo lado da demanda é um conjunto de regulamentações específicas, geralmente correspondendo a um programa específico de resposta da demanda ou um conjunto de condições de mercado que criam incentivo para consumidores finais gerenciarem de forma ativa a sua demanda de acordo com a necessidade da rede, como preços por tempo de uso ou tarifas dinâmicas.

A resposta da demanda é um recurso de flexibilidade muito importante para aumentar a confiabilidade do sistema, tendo especial utilidade em mercados com grande participação de recursos renováveis. A Resolução Normativa Aneel nº 1.030, de 2022 estabeleceu as regras para a Resposta da Demanda Estrutural no Brasil, depois de um período de experimentação com o Programa Piloto de Resposta da Demanda, fruto da Resolução Normativa Aneel nº 792, de 2017 e da Redução Voluntária da Demanda (RVD), estabelecido de forma temporário pela Portaria Normativa MME n. 22 de 2021. Com isso, visualiza-se papel de relevância desse recurso para alcançar um cenário neutro em emissões.

De forma adicional, ressalta-se que o uso de sistemas de armazenamento, em complemento ao recurso de resposta da demanda é de grande valia no alcance da transição energética, pois permite uma gestão ainda mais eficiente e ativa do consumo. Contudo, para isso, é importante que sejam revisadas as condições de remuneração para prestação de serviços ancilares no sistema, discussão já iniciada no Brasil.

Por outro lado, as "caixas de areia tarifárias" são projetos para experimentar novas modalidades tarifárias ou métodos de faturamento, dada a atual necessidade de modernizar as tarifas dos consumidores de baixa voltagem. Realizam-se num ambiente controlado, o que permite uma monitorização e exploração adequadas dos resultados.

Os sistemas de distribuição de eletricidade estão a sofrer alterações e serão afetados pelas novas tecnologias. O comportamento dos consumidores também está a mudar. Daí a necessidade de tarifas mais adequadas e de melhor conhecimento do comportamento dos consumidores. Esta é uma grande oportunidade de aprendizagem e troca de experiências para distribuidores, consumidores e regulamentação da indústria.

A este respeito, o Brasil, num novo passo para a modernização das tarifas eléctricas, abriu a **1ª Chamada Pública para Bancos de Areia Tarifários**<sup>53</sup>, na qual os distribuidores são convidados a apresentar projetos-piloto para a experimentação de novas tarifas e outros projetos para o faturamento de energia aos consumidores.

### **Recomendação 4: Promover a integração energética com os países vizinhos.**

A maior variabilidade da geração renovável não convencional (eólica e solar) exige maior integração regional para gerenciar os excedentes ou déficits de geração local. A coordenação dos sistemas de transmissão em nível de país é necessária para minimizar a redução forçada de geração (corte) em nível regional, permitindo maiores trocas. No entanto, é importante entender que não basta apenas coordenar os sistemas de transmissão (parte técnica), pois já existem interligações, mas com baixo fator de uso por questões políticas ou critérios de auto segurança do país.

Um exemplo é o **Acordo-Quadro de Interconexão Energética entre o Brasil e o Uruguai**, reafirmando o interesse em avançar para uma melhor utilização dos recursos energéticos com base na cooperação, integração e interconexão dos seus sistemas eléctricos.

As interligações eléctricas desenvolvidas ou a serem desenvolvidas entre ambos os países têm, os seguintes objetivos:

- Intensificar a cooperação recíproca no domínio da energia e promover a integração através da interligação dos sistemas eléctricos;
- Otimizar a utilização racional dos recursos de produção e transmissão de energia;
- Promover trocas mútuas de energia e energia entre os seus sistemas eléctricos interligados, considerando a possibilidade de várias formas contratuais de comércio firme, ocasional e de reserva em caso de emergência;
- Melhorar a segurança e a qualidade dos serviços;
- Prestar assistência técnica recíproca e programas de melhoria de recursos humanos, no âmbito e para os fins do presente instrumento.

53 <https://www.gov.br/aneel/pt-br/empreendedores/sandboxes-tarifarios>

### **Recomendação 5: Desenvolver uma regulamentação que estimule os investimentos necessários nas redes.**

A expansão do sistema de transmissão deve ser planejada de forma que permita atender o pico de demanda do sistema e a integração regional. Este investimento deve ser analisado considerando os benefícios incrementais de todo o transporte de energia.

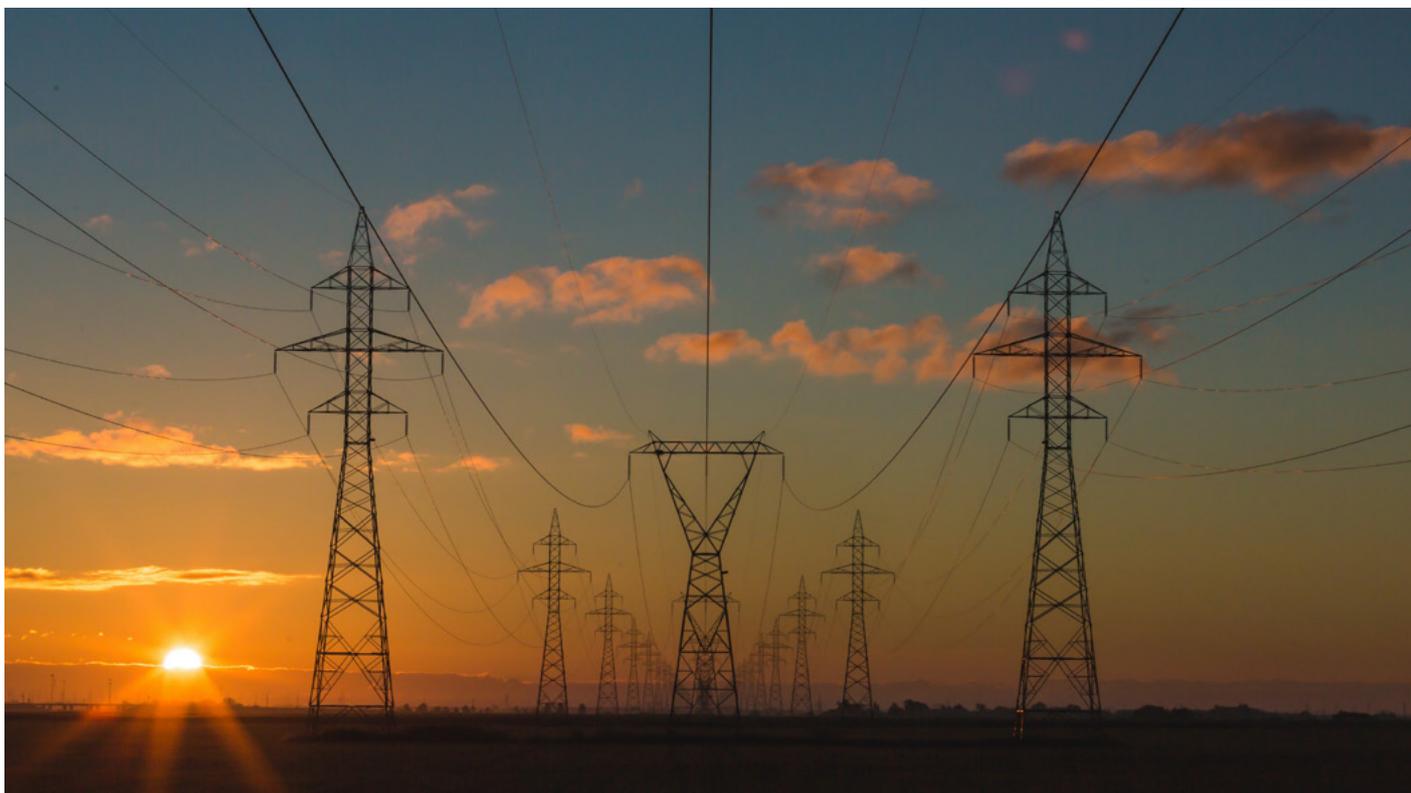
Deve-se trabalhar no desenho de diretrizes para o desenvolvimento de uma Estratégia Nacional de Rede Inteligente com visão de curto e médio prazo, a fim de definir linhas de ação para atender os investimentos necessários para o desenvolvimento de uma matriz energética que consiga atender o consumidor crescente demanda derivada de:

1. A maior eletrificação dos usos finais.
2. Crescimento populacional.
3. O mais alto nível de atividade econômica resultante da inserção de recursos energéticos distribuídos. Neste sentido, deve ser permitida a concorrência sustentável entre os diferentes recursos da rede elétrica, tanto distribuídos como centralizados.
4. A maior potência de consumo por habitante.

### **Recomendação 6: Fortalecimento da Geração Distribuída com a correta alocação de custos e benefícios da expansão dessa modalidade**

Sem dúvidas, a Geração Distribuída tem papel fundamental em cenário de transição energética, contudo, a regulamentação deve criar as condições necessárias para que seu crescimento seja equilibrado e gere benefícios líquidos a sociedade. Em Janeiro de 2022 foi publicada a Lei 14.300, definindo o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e a definição legal do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e a implementação do Programa Social de Energias Renováveis, que busca justamente promover o desenvolvimento de fontes renováveis de energia distribuída.

Dessa forma, é fundamental continuar a aprofundar os benefícios que devem ser considerados para concretizar os objetivos desta Lei, uma vez que, de acordo com os resultados do modelo, a concretização de um cenário de neutralidade de carbono numa perspectiva de solução custo-eficiente, exigirá que em 2050 o Brasil terá conseguido instalar uma capacidade total de 151,35 GW de energia solar distribuída.



Fonte: Matthew Henry, Unsplash

## **Recomendação 7: Acelerar a implementação de medidores inteligentes acompanhado de um plano de comunicação do governo sobre os benefícios da tecnologia**

A rede elétrica é uma infraestrutura fundamental em qualquer sociedade, e será ainda mais na transição energética. Uma rede moderna e inteligente que incorpore as tecnologias da informação e a internet das coisas permitirá obter maiores benefícios por cada real investido. Os medidores inteligentes são o coração das redes inteligentes que permitem a medição do fluxo bidirecional de energia e são uma condição facilitadora da energia distribuída, da gestão eficiente da demanda e dos serviços prestados pela eletro mobilidade por meio de carregadores bidirecionais à rede (V2G). A atualização da rede para torná-la "mais inteligente" e mais resiliente usando tecnologias, equipamentos e controles de ponta que se comunicam e trabalham juntos para fornecer eletricidade de forma mais confiável e eficiente resulta em melhores serviços aos usuários, incluindo a redução da frequência e duração de quedas de energia e restaure o serviço mais rapidamente quando ocorrerem interrupções.

O consumo de energia não é homogêneo ao longo do tempo. A rede de distribuição deve ser ampliada para atender a demanda máxima esperada no futuro. Tradicionalmente, esse design foi feito com base na experiência anterior do consumidor. No entanto, esperam-se no futuro alterações substanciais no perfil de consumo dos utilizadores, que é fundamental poder antecipar para otimizar os investimentos. A implementação imediata de um plano de introdução de medidores inteligentes visa fornecer essa informação.

Em geral, medidores inteligentes também permitem benefícios imediatos e entre eles estão a minimização das perdas na rede e a redução do custo operacional dos serviços públicos (custo da leitura do medidor). Os consumidores poderão gerir melhor os seus próprios custos e consumos de energia porque terão mais facilidade de acesso aos seus próprios dados com acesso a informação de consumo em tempo real e novas ferramentas de autogestão do consumo, permitindo melhorar os hábitos de consumo. As concessionárias também se beneficiam de uma rede modernizada, incluindo segurança aprimorada, cargas de pico reduzidas, maior integração de energias renováveis e custos operacionais mais baixos.

A implantação de medidores inteligentes permitirá a implementação de tarifas horárias/diferenciadas, além de permitir que as distribuidoras melhorem a qualidade do serviço, reduzam os tempos de atendimento de sinistros (atendimento e comercial), agilizem o atendimento de solicitações (corte e religação), realizar medições remotas, detectar fraudes em tempo hábil; e realizar serviços de gerenciamento de demanda. Uma implementação massiva permitirá a incorporação dos benefícios

relevantes da tecnologia e o desenvolvimento de novos perfis e competências nos prestadores de serviços, para a instalação, configuração e manutenção do equipamento e, finalmente, criar a necessidade de produção de equipamento no país. Além disso, a qualidade do serviço será melhorada, pois as distribuidoras poderão acessar diferentes estratégias para limitar a energia consumida por cada cliente. Desta forma, evitar-se-á a paragem de um TC (Transformador de Corrente) por sobrecarga.

Proposta regulatória:

### **Promover o projeto de lei relacionado à promoção do Plano Nacional de Redes Elétricas Inteligentes - PNREI , propondo os seguintes marcos:**

- Com base em uma avaliação de custo-benefício, promover substituição massiva dos medidores tradicionais existentes por medidores inteligentes.
- Para as novas edificações, propõe-se a instalação apenas de medidores inteligentes nas unidades funcionais, pagando-se o custo de conexão equivalente ao "custo de conexão especial" que poderá ser parcelado pela distribuidora.

## Recomendação 8: A descarbonização, digitalização e descentralização a prestação do serviço de energia elétrica, reconhecendo o seu papel na transição energética

Para apoiar a transição de todo o setor energético, da gestão das centrais elétricas através de redes inteligentes para novos serviços ao consumidor, são necessários grandes investimentos em inovação tecnológica, incluindo os conceitos de descarbonização, digitalização e descentralização da rede elétrica. Estes três pilares irão melhorar o funcionamento das redes de transmissão e distribuição de eletricidade e permitir responder adequadamente aos crescentes desafios da produção e consumo de energia.

Um dos aspectos mais importantes, juntamente com o crescimento da capacidade instalada da matriz de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis de energia, é a digitalização, que deve transformar os processos de produção, distribuição e consumo de energia.

A digitalização da matriz elétrica deve ser promovida como prioridade, mantendo o uso de novas tecnologias atualizadas. Esta visa, principalmente, melhorar a qualidade de serviço do sistema de abastecimento como um todo, reduzindo os tempos de falha e os custos operacionais e permitindo atender o crescimento da demanda de forma ordenada e previsível e o melhor uso dos novos recursos de abastecimento.

A transição energética é um fenômeno que vai além da simples geração de eletricidade limpa e, por meio da digitalização, interessa a todos, tanto produtores quanto consumidores.

A digitalização da energia deve ser promovida:

- No segmento da Geração de energia, promovendo operação automatizada naquelas que ainda não a possuem e na medida em que a tecnologia permita. Divulgar o uso de softwares inovadores que permitam observar possíveis dados anômalos e, assim, detectar um risco potencial, bem como maximizar a manutenção preditiva e identificar ações em tempo real que melhorem a eficiência das usinas. Os programas a serem impulsionados devem ser baseados em algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial.
- **Redes de Transmissão** Nas redes EAT (Extra alta tensão) e AT (Alta tensão), as primeiras soluções utilizadas hoje são equipamentos de controle remoto, que permitem sua operação remota em condições normais ou em caso de falha, e a automação de algumas ações baseadas em sistemas inteligentes, além disso, muitas estações de transformadores nesses níveis de tensão agora são totalmente automatizadas e operadas remotamente. Devem ser recomendados avanços no uso de sistemas de inteligência artificial para operação e manutenção dessas redes, uso de realidade virtual e

simulação 3D para operação e controle em tempo real. Será necessário rever a remuneração do transporte para permitir esse desenvolvimento.

- **Redes de distribuição**, promovendo iniciativas que gerem alto impacto no aumento da resiliência da rede frente às consequências dos eventos climáticos; controle remoto em redes de MT (Média tensão) e BT (Baixa tensão), melhorar significativamente a qualidade do serviço prestado aos clientes; o uso de drones para inspecionar as redes, a aplicação de realidade aumentada em tarefas presenciais, o desenvolvimento de gêmeos digitais da rede (réplica digital 3D), entre outras iniciativas, contribuem para a aceleração dos tempos em que vem realizar e planejar tarefas de reparação, ampliação e renovação no seu interior, e garantir a segurança dos trabalhadores na realização destas atividades.
- **Consumidor**. A digitalização ao nível do consumidor irá favorecer o processo de transição energética. Os benefícios que a digitalização trará aos clientes serão as interfaces digitais graças às quais os novos medidores inteligentes fornecerão informações quase em tempo real sobre consumo e produção e possibilitarão os novos serviços mencionados, como resposta à demanda, além de fornecer soluções inteligentes para gerenciar sistemas de segurança, uso de eletrodomésticos, regulação de temperatura, etc. Os clientes passarão de usuários passivos e inconscientes a protagonistas ativos e exigentes do sistema elétrico, aumentando sua própria consciência energética.

Graças à digitalização, os prosumers, ou seja, os clientes que produzem e consomem energia, também contribuem para a criação de uma mistura de eletricidade com emissões mais baixas.

Através da incorporação de tecnologia e soluções digitais inovadoras, será alcançado um sistema de abastecimento resiliente, participativo e sustentável.

- **Resiliência** para que a rede seja capaz de suportar os efeitos que já vivemos das alterações climáticas, garantindo um serviço essencial que será cada vez mais relevante com a eletrificação;
- **Participativo**, pois o cliente terá um papel ativo e central. Nesse novo esquema de interação, os usuários passam a ser um componente ativo no qual não apenas demandam energia das redes, mas também evoluem para se tornarem protagonistas que contribuem para o equilíbrio consumo-produção, ingressando como um agente capaz de fornecer energia ao sistema sempre que tiver a possibilidade de o fazer. Além disso, os usuários não apenas demandarão eletricidade, mas ao mesmo tempo passarão a exigir novos serviços, especialmente voltados para a gestão de seu consumo e, mais importante, a aquisição de dados para a tomada de decisões.

É nesse cenário que os DSOs (Operadores do Sistema de Distribuição) se tornam atores fundamentais para enfrentar as novas exigências dos usuários.

- **Sustentável**, aumentando os esforços para garantir 100% de acesso à energia em condições de qualidade e segurança e, por sua vez, gerando condições para a criação de emprego, desenvolvimento socioeconômico e melhoria da sua qualidade e aplicando uma abordagem industrial circular. As atualizações da matriz também permitirão um uso maior e mais eficiente dos recursos, reduzirão a perda de eletricidade devido à transmissão em longas distâncias e aumentarão o uso localizado de novos tipos de geração e armazenamento de eletricidade. Em geral, a criação de uma matriz mais elétrica inteligente dar para como resultado um melhor sistema elétrico.

### **Recomendação 9: Projetar uma estrutura tarifária para adequada sinalização de preços ao consumidor final**

A estrutura tarifária deve ser projetada de tal forma que seja capaz de fornecer sinais de preços apropriados que possam impulsionar a resposta da demanda e comportamentos de eficiência energética. Devem ser promovidas tarifas dinâmicas e tarifas por tempo de utilização para dar o sinal de preço correto aos consumidores, passando o custo real da energia do mercado atacadista para o mercado do varejo. No que respeita aos encargos de rede, considerando que os custos subjacentes suportados pelos operadores de rede estão relacionados com a capacidade, deverá haver uma maior proporção de componentes relacionados com a capacidade. Desta forma, as novas estruturas tarifárias irão promover a eficiência energética também por parte dos distribuidores, que hoje sofrem perdas financeiras devido à redução do consumo devido a estruturas tarifárias desatualizadas.

### **Recomendação 10: Buscar integração entre distribuidoras e transportadores de energia para otimizar a gestão da matriz elétrica**

Desenvolver uma regulamentação que melhore o papel dos distribuidores e promova uma interação bem concebida entre eles e os novos atores é essencial para otimizar a atribuição de recursos nas comunidades locais. Os municípios, os serviços públicos e os distribuidores podem cooperar para otimizar o desenvolvimento de infraestruturas, explorando potenciais sinergias e evitando a duplicação. Isto inclui, por exemplo, sinergias entre setores energéticos (medição múltipla, transmissão ou sinergias entre eletricidade e infraestruturas de telecomunicações residenciais/alugares). Além disso, a fim de reduzir os custos globais para os clientes finais, as intervenções dos distribuidores devem ser permitidas e financeiramente incentivadas.

### **Recomendação 11: Estabelecer a Eficiência Energética como uma política de Estado, para a qual se promove a sanção de uma Lei de Eficiência Energética abrangente para:**

- Promover medidas e políticas ambiciosas relacionadas ao aumento da eficiência energética em todos os setores, reduzindo o impacto no meio ambiente e garantindo o fornecimento de energia para um país em crescimento.
- Implementar sistemas de gestão de energia.
- Implementar e promover rotulagem e padrões mínimos (para estabelecer o consumo máximo de energia e níveis mínimos de eficiência energética para todos os equipamentos de consumo). E estabelecer uma estratégia de implementação para o consumidor.
- Elaborar um regulamento específico para edifícios, tanto novos como já existentes, que estabeleça normas mínimas e obrigatórias de cumprimento em eficiência energética, nomeadamente no que diz respeito à construção (isolamento térmico e climatização através de vãos e fechamentos, iluminação natural, etc.).
- Lançar um programa de educação em eficiência energética, destinado ao ensino médio e superior, incluindo cursos, seminários, treinamento e autodiagnóstico, além das ações educacionais já previstas no PEE (Programa de Eficiência Energética). Adicionalmente, será necessário desenvolver treinamento e capacitação nos municípios, pois a cidade tem um papel relevante na transição energética e os municípios têm um impacto na gestão local de energia.

## Recomendação 12: Atender à crescente demanda por energia, abordando as mudanças climáticas e os impactos sociais e de gênero

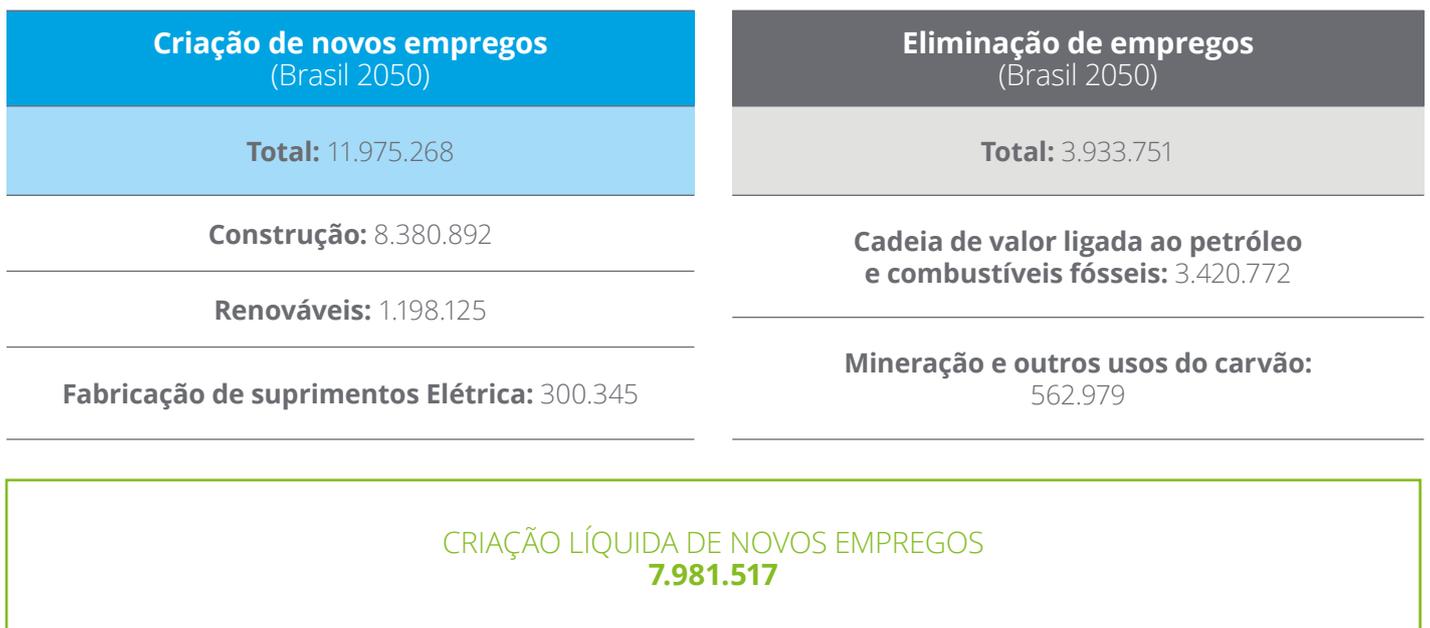
O Acordo de Paris reconhece a necessidade de uma transição rápida e equitativa para os trabalhadores e a comunidade. A transição aumentará a prosperidade e pode ser um fator-chave para a criação de empregos.

Nesse sentido, as seguintes considerações devem ser levadas em conta para garantir que os benefícios cheguem aos mais necessitados e se concretizem na geração de emprego:

- Gerenciar negócios e oportunidades
- Combater a pobreza energética
- Promover uma redistribuição justa dos custos de transição

Em relação a esta área de oportunidade, o resultado deste estudo mostra que, se as medidas descritas ao longo deste documento forem aplicadas para atingir a neutralidade de carbono até 2050, observaremos uma geração líquida de novos empregos num total de 7.981.517.

**Figura 48: Criação líquida de novos empregos**



## Recomendações destinadas a reduzir as emissões nos setores residencial, comercial e de serviço público

As medidas de mitigação relacionadas aos setores residencial, comercial e de serviços públicos referem-se à necessidade de adoção de mudanças tecnológicas para alcançar um uso mais eficiente da energia. Da mesma forma, busca-se a substituição de tecnologias geradoras de emissões de gases de efeito estufa por tecnologias elétricas (evitando assim a geração de emissões diretas), de acordo com as metas estabelecidas em termos de eletrificação dos usos finais. Por exemplo, através da substituição de fogões a GLP e utilização de biomassa para fogões elétricos.

A implementação dessas medidas exigirá, é claro, que sejam definidos códigos de construção que sejam consistentes com a introdução dessas novas tecnologias e que os edifícios existentes sejam adaptados para a mesma finalidade.

Desta forma, a introdução de tecnologias mais eficientes permitirá reduzir o consumo de energia em 12% até 2050 em relação aos valores projetados no cenário de tendência, ao mesmo tempo que reduz as emissões em 49%.

Para alcançar esses impactos positivos, propõe-se:

### Recomendação 13: Promover a redução das emissões dos setores residencial e comercial.

- Lançar campanhas de informação que destaquem as vantagens da eletrificação em termos de redução de emissões e que proponham medidas para o atingir, e promovam a adesão a este programa de mudança com incentivos económicos e financiamento:
  - Substituição das tecnologias existentes por outras mais eficientes energeticamente na categoria "refrigeração" (ar condicionado e refrigeradores).
  - Substituição de fogões a GLP e utilização de biomassa para fogões elétricos.
  - Substituição das luminárias tradicionais por luminárias LED, seguindo tendências de mercado que apontam para a não comercialização de lâmpadas halógenas.
- Garantir que a tarifa de eletricidade comunique um sinal de preço que inclua os custos reais do fornecimento, eliminando os custos extras derivados de políticas que distorcem o sinal de preço.

- Desenvolver campanhas de comunicação para conscientização sobre emissões em prédios e equipamentos.
- No que se refere ao setor comercial, devem ser estabelecidas políticas de fomento à realização de investimentos em eficiência energética, criando incentivos (benefícios fiscais, por exemplo) e facilitando o acesso a financiamentos para o desenvolvimento de projetos atrativos.

### Recomendação 14: Promover a redução das emissões do setor público.

- Estabelecer obrigações, sujeitas a revisão e fiscalização, de definir um padrão para edifícios públicos que serão inaugurados no futuro (como autarquias, empresas públicas, escolas e hospitais), para que sejam adequados ao uso de aparelhos elétricos.
- Substituir gradualmente os dispositivos não elétricos por elétricos nos estabelecimentos públicos existentes.
- Incorporar um plano de transferência da iluminação tradicional para a tecnologia LED por meio de programas de licitação pública para realizar as referidas substituições.
- Promover a eletrificação das frotas de veículos em atividades de serviço público (corpo de bombeiros, polícia, ambulâncias, etc.).

## Recomendações destinadas a reduzir as emissões no setor dos transportes

O desenvolvimento do Veículo Elétrico a Bateria (VEB) é o compromisso mais importante para descarbonizar o setor dos transportes. Para alcançar uma curva de adoção acelerada do VEB, deve-se seguir uma política de promoção do veículo elétrico, com incentivos à adoção da tecnologia e restrição da venda de carros de combustão interna e, em especial, promover a eletromobilidade no transporte público de passageiros, bem como a uso de veículos não motorizados. Como consequência, no Cenário Net Zero uma curva de penetração de mercado acelerada é alcançada, atingindo uma participação de mercado de 32% até 2030 e uma participação de 85% até 2050. Um mecanismo de supercrédito que vincule os fabricantes de automóveis a uma certa cota de créditos de veículos com emissão zero, como os adotados na China, Califórnia e Canadá, poderia ser muito eficaz para aumentar a mobilidade sustentável. Outras possibilidades incluem a introdução de requisitos de instalação de pontos de carregamento em edifícios novos e existentes, e em parques de estacionamento.

### Recomendação 15: Promover a mobilidade sustentável no transporte leve

Aprofundando na estruturação de um esquema de incentivo e promoção ao transporte elétrico, deve-se trabalhar os seguintes aspectos:

- Acelerar o cronograma para a introdução de regulamentos que limitam a poluição ambiental e o consumo de combustível de veículos com motores de combustão interna. O Brasil, em consonância com as mudanças internacionais que ocorrem no setor, deve avançar rapidamente para a convergência dos mais exigentes padrões internacionais, estabelecendo prazos claros e definitivos para o cumprimento.
- Introduzir, no âmbito dos regulamentos acima mencionados, uma meta de emissão de dióxido de carbono ao nível da frota por fabricante ou importador, com limites crescentes de emissões de GEE e/ou mecanismos do tipo supercrédito. Incluir uma meta mínima para 2030 e 2050 de participação nas vendas de veículos híbridos ou elétricos a bateria para o mercado nacional, estabelecendo incentivos suficientes para atingir as metas estabelecidas.
- As metas e instrumentos devem ser planejados com bastante antecedência e discussão para serem a base futura da configuração da indústria automotiva.
- O desincentivo à aquisição do automóvel de combustão interna deverá ser concretizado através do aumento dos impostos tanto sobre a sua aquisição como sobre a sua utilização, incluindo os impostos sobre o combustível.
- Complementar os objetivos de penetração de veículos elétricos com incentivos para a aquisição ou substituição de veículos a combustão mais antigos, incluindo isenção de

impostos internos e maiores valores na dedução do Imposto sobre Mercadorias e Serviços (ICMS) e do Imposto de Renda. Os resultados do estudo mostram-nos que, para atingir a descarbonização do setor dos transportes, será necessário que 13% da frota automóvel seja elétrica até 2030, enquanto até 2050 esta quota terá de atingir 71% da frota automóvel.

- Estabelecer medidas que reduzam o tráfego de veículos convencionais, restringindo sua circulação, especialmente nos centros urbanos, promovendo o carro elétrico concedendo benefícios no estacionamento na via pública, ou promovendo esquemas de mobilidade alternativos aos veículos, como bicicletas e transporte público.
- Incentivar a eletrificação de todos os transportes públicos urbanos. A primeira medida é concluir a eletrificação dos ônibus movidos a Diesel. Em um cenário que aponta para a neutralidade de carbono, será exigido que até 2030 41% da frota de ônibus seja elétrica, enquanto até 2050 essa participação deve chegar a 99% da frota.
- Desenvolver infra-estrutura de recarga em áreas urbanas de forma coordenada entre os setores público e privado para cobrir progressivamente de forma eficiente e completa a disponibilidade suficiente de pontos de recarga, por exemplo, incluindo requisitos de pontos de recarga em novas construções e edifícios existentes. Esse planejamento também deve considerar a infraestrutura mínima necessária nas rotas nacionais. Estima-se que para o tamanho projetado da frota elétrica em 2050, serão necessários 4,34 milhões de pontos de recarga pública no Brasil.
- É necessário estabelecer um marco regulatório específico para essa nova realidade, estabelecendo claramente os papéis entre distribuidoras de energia elétrica, agentes de recarga e usuários que estimulem o investimento privado na infraestrutura de recarga. Alguns aspectos normativos/ regulatórios a definir são:
  - A Entidade Reguladora deve estabelecer tarifas horárias específicas para recarga (fora de ponta, ponta, descanso) para fornecer sinais de preço que promovam a eficiência.
  - Deve ser assegurada a implantação de contadores inteligentes, uma vez que são necessários para recolher informações e medições de energia para veículos elétricos e de veículos elétricos para casa ou para a rede; permitindo assim a incorporação de tarifas horárias ou específicas para este setor para estimular o usuário a recarregar de forma eficiente através de sinais de preços.
  - Definição de normas - padronização de conectores, níveis de tensão com base no tipo de recarga, protocolos de comunicação e outros parâmetros para permitir a interoperabilidade e maximizar os benefícios da eletromobilidade.

## Recomendações destinadas a reduzir as emissões no setor agrícola

Em termos de emissões, em 2019, as emissões decorrentes do uso de máquinas agrícolas no Brasil totalizaram 15,89 MtCO<sub>2</sub>eq., o que representa 1,4% do total de emissões em todo o país. Embora, nestes termos, seja um setor pouco representativo, para a implementação de um plano de transição energética é importante que os diferentes atores assumam um papel ativo na luta contra as alterações climáticas.

É por isso que as recomendações ligadas ao setor energético da categoria “agricultura” referem-se principalmente à renovação de tecnologia e eletrificação dos usos finais. Desta forma, de acordo com os resultados do modelo, vemos que existe um potencial de melhoria em termos de adoção de novas tecnologias, que permitiriam reduzir o volume de emissões em 86% até 2050 em relação à tendência cenário.

### Recomendação 16: Promover a redução de emissões do setor agropecuário.

- Criar um programa de incentivos econômicos para o desenvolvimento, promoção e implantação de máquinas agrícolas elétricas:
  - Programas de financiamento por meio de linhas de crédito que o governo concede especificamente para esses fins.
  - Concessão de garantias que permitem às empresas do setor obter financiamento a um custo menor.
- Promover boas práticas como a promoção de rotações de culturas equilibradas. Promoção do uso do polímero que inibe a ação da urease NBPT, que reduz em 10 vezes a volatilização da uréia aplicada na superfície.
- Promover o uso de fixadores biológicos livres e simbióticos de nitrogênio atmosférico em culturas e pastagens associadas - a opção gera impacto nas emissões de GEE por meio da substituição relativa de fertilizantes sintéticos, aumentando a produtividade.
- Promover estratégias de adubação variável para ajustar a dose de N.
- Prevenir a queima da cana-de-açúcar por meio do aproveitamento da colheita integral da cana verde e aproveitar o potencial de cogeração de energia utilizando resíduos de colheita (RAC) e moagem (bagaço) da cana.
- Promover a incorporação de geração renovável distribuída que permita a expansão da irrigação e, assim, melhorar a produtividade das lavouras, permitirá aumentar a produção e a fronteira agrícola sem aumentar as emissões. Juntamente com o aproveitamento energético das quantidades significativas de biomassa produzidas por essas atividades.

## Recomendações sobre setores não energéticos

Dado o seu potencial de captura, o setor não energético permite compensar as emissões geradas pelos demais setores. Conforme mencionado no capítulo anterior, no Cenário Net Zero, a partir da incorporação de medidas disruptivas, o potencial de captura de carbono pode ser aumentado, atingindo um nível de absorção de 248,7 MtCO<sub>2</sub>eq. a 2050.

### Recomendação 17: Promover a redução das emissões dos setores de pecuária, silvicultura e outros usos da terra.

- Desenvolver boas práticas no desenvolvimento e gestão da pecuária.
  - Promoção de campanhas de vacinação do gado contra bactérias metanogênicas para reduzir as emissões de gás metano.
  - Campanhas de promoção de boas práticas de gestão pecuária no que diz respeito à alimentação e suplementos alimentares para o gado.
  - Implementação de práticas pecuárias sustentáveis vinculadas a mecanismos de pastoreio de curta duração e alta densidade, que permitem a regeneração ideal das pastagens (que funcionam como sumidouros de carbono e permitem compensar as emissões de gás metano).

Em nosso estudo, estima-se um percentual de 100% de adoção dessas práticas, permitindo uma redução total de 2.439 MtCO<sub>2</sub>eq. até 2050 em relação ao cenário de referência.

- Zerar as emissões causadas pelo uso impróprio e irresponsável da terra.
  - Promover medidas que previnam o desmatamento, como:
    - Oferecer incentivos aos proprietários de terras florestais para facilitar a conservação das florestas e a adoção de atividades de baixo impacto.
    - Promover o consumo sustentável da polpa de madeira. Isso pode ser alcançado por meio de técnicas de reflorestamento. As árvores reflorestadas se concentram em regiões específicas, que se dedicam a cuidados ambientais e atendem a todos os requisitos exigidos pelo Forest Stewardship Council (FSC) — órgão responsável por decretar normas e padrões de extração de madeira para produção de outros bens.

- Incentivar a arborização de pastagens, incorporando assim sumidouros florestais de carbono que servem para capturar dióxido de carbono. Determinar antecipadamente a existência e disponibilidade de terras a serem arborizadas, o que dependerá da necessidade de fornecimento de alimentos para a população crescente.
- Desenvolver um plano de reflorestamento para terras degradadas. Definir um plano para incentivar e desenvolver a gestão eficiente e consciente de pastagens, culturas e pecuária, e promover a restauração da terra.
- Aumentar a produtividade das pastagens, implementando sistemas de irrigação eficientes e aumentando a intensidade do pastejo.
- Promoção de melhores práticas agronômicas, rotação de culturas, aplicação de sistemas agrícolas menos intensivos e melhoria da gestão de nutrientes.
- Desenvolvimento de planos de reflorestamento e conservação de água para alcançar a restauração de terras (a implementação de um plano nacional de reflorestamento é considerada para cobrir uma área total de 2,5 milhões de hectares).

A partir da implementação deste pacote de medidas, espera-se gerar um potencial de captura de carbono de 302,18 MtCO<sub>2</sub>eq, até 2050, o que permitirá compensar as emissões de outros setores, permitindo atingir a meta de neutralidade de carbono.

### **Recomendação 18: Promover a redução do emissões do setor resíduos e promover a economia circular em todos os setores como um acelerador transversal.**

- Acelerar a transição, incluindo esta questão numa Agenda Política construída coletivamente. Incorporar a adoção de modelos de economia circular envolvidos no desenvolvimento sustentável das cidades, a promoção da competitividade econômica, a inovação tecnológica, a sustentabilidade ambiental e a inclusão social.
- Potencializar a política atual de mecanismos compensatórios (Lei N° 12.305) através de benefícios fiscais que promovem a mudança para um modelo de economia circular. Adoção de mecanismos punitivos através de multas para penalizar o não cumprimento de objetivos previamente estabelecidos.
- Implementação de leis REP (responsabilidade estendida do produtor), além de recipientes fitossanitários e baterias. Ter um regulamento REP permitiria que todos os atores envolvidos comessem a trabalhar juntos para que o sistema de gestão de embalagens funcione. Isso porque uma legislação desse tipo pode abranger toda a cadeia de forma diferenciada: produtores, autoridades, recuperadores, recicladores e consumidores.

Melhorar a qualidade e eficiência da Estratégia Nacional para a Gestão Integral de Resíduos Sólidos Urbanos com base nas seguintes medidas:

- **Resíduos Sólidos Urbanos (RSU):** Construção de aterros sanitários com captação de gás de aterro (GRS), geração de energia elétrica a partir da captação de biogás de aterro (GRS), geração de energia térmica a partir da captação de biogás de aterro (LFG), promover a separação de RSU entre geradores (a separação só pode ser entre resíduos recicláveis e não recicláveis e/ou envolver a separação de resíduos recicláveis por categorias pré-selecionadas (vidros, recipientes, jornais, papelão e plásticos, entre outros).
- **Esgoto Doméstico/Comercial (ARD):** Construção e comissionamento de estações de tratamento de efluentes domésticos com captação de biogás.
- **Efluentes Industriais (ARI):** Construção e comissionamento de estações de tratamento de efluentes industriais com captação de biogás.

Incorporar os conceitos de economia circular no processo de abastecimento

O crescimento das tecnologias de energia renovável apresenta grandes desafios em termos de fornecimento de materiais, produção e gerenciamento de fim de vida. Se eles não forem cobertos na perspectiva da economia circular, novos problemas ambientais podem ser criados no futuro.

Por exemplo, o crescimento dos resíduos de painéis fotovoltaicos - cuja vida útil média é de cerca de 30 anos - implica um novo desafio ambiental global, mas ao mesmo tempo apresenta oportunidades para criar valor e promover novas atividades econômicas relacionadas à recuperação de materiais. e o desenvolvimento de novas indústrias de reciclagem. Os principais componentes dos painéis de silício, incluindo vidro, alumínio e cobre, podem ser recuperados em percentuais superiores a 85%. Gerenciar a cadeia de suprimentos de painéis solares de uma perspectiva circular requer uma abordagem em duas partes. Em primeiro lugar, é necessário garantir que os painéis atualmente instalados sejam recuperados no final do seu ciclo de vida de forma a maximizar o valor recuperado e, em segundo lugar, é necessário aplicar o conceito circular desde o início da fase de projeto.

No caso da energia eólica, a maioria dos componentes de uma turbina eólica - que tem vida útil média de cerca de 20 anos - também é reciclável, pois é composta por peças metálicas; no entanto, as pás representam os componentes mais difíceis de recuperar devido aos materiais compósitos com os quais são feitas, principalmente resinas reforçadas com fibra de vidro e, nos parques eólicos mais recentes, com fibra de carbono.

Nesse sentido, em países com um estado mais maduro de implementação de tecnologia, estão sendo estudadas alternativas de reutilização e reciclagem de lâminas. Testes têm sido realizados mostrando que, através da sinterização e extrusão dos materiais das pás das turbinas, podem ser produzidos tijolos para uso no setor da construção civil, também estão sendo avaliadas possíveis soluções de economia circular para incorporar pellets de fibra de vidro de pás em desuso na produção de outros produtos reciclados para o setor da construção.

Esse desafio também ocorrerá com a penetração do carro elétrico e a reciclagem de sua bateria.

Para enfrentar o desafio da reciclagem, é necessária uma abordagem multidisciplinar e multissetorial que integre a inovação tecnológica e a criação de modelos de negócios com o desenvolvimento de um marco regulatório e a definição de novos padrões.

Além disso, entre os materiais dos componentes para energia renovável e armazenamento, existem muitas substâncias incluídas na lista de matérias-primas críticas da União Europeia. É necessária uma visão ampla e estratégica, compatível com a conservação dos recursos, ligada à economia circular e à responsabilidade social dos países que permita responder à crescente procura que estes minerais irão experienciar nos próximos anos. Tudo isso configura um cenário onde a reciclagem e a gestão correta de resíduos podem permitir economias econômicas e ambientais, reduzindo o consumo de matérias-primas escassas.

Com a implementação deste pacote de medidas, espera-se reduzir o nível de emissões ao nível da geração e tratamento de resíduos em 144,77 MtCO<sub>2</sub>eq. até 2050 no que diz respeito ao volume de emissões do cenário de tendência.

## Recomendações sobre instrumentos econômicos e políticas de precificação de carbono

### Recomendação 19: Introduzir um regulamento específico para desenvolver um sinal de preço efetivo para o custo das emissões.

- A nível internacional e de acordo com o Banco Mundial, existem 68 iniciativas de preços de carbono que cobrem 23% das emissões de GEE. Diante de um progresso menor do que o esperado, alguns países ou regiões, como a Europa, planejam incorporar mecanismos de ajustes de fronteira, na qual as importações advindas de determinados setores devem pagar com base em seu nível de emissão e nos impostos equivalentes existentes em seu país.
- A recomendação internacional é avançar na incorporação de sinais de preços para estimular a transição energética, embora se reconheça que cada país deve adotar sua própria política, sem que haja um critério de homogeneização.
- A introdução de sinais de preços efetivos no país deve ser feita com atenção aos avanços internacionais e nos setores com maior probabilidade de estarem sujeitos ao mesmo preço nos mercados de exportação.
- Os dois instrumentos mais utilizados são um imposto aplicado à emissão de CO<sub>2</sub> (taxa de carbono) ou o estabelecimento de um mercado de comércio de certificados de emissão. Uma desvantagem do imposto sobre o carbono é que ele é repassado a todos os consumidores em preço, causando uma perda de poder aquisitivo com maior impacto nos mais vulneráveis. Recomendamos que sejam desenvolvidas medidas para reduzir o impacto sobre as tarifas dos consumidores mais socialmente vulneráveis.
- Promover o mercado regulado (ou de compliance) de carbono, começando com as indústrias ou setores mais intensivos em carbono. O objetivo é internalizar no país os recursos que de outra forma seriam capturados pelos consumidores nos países importadores.
- Realizar um estudo que possa quantificar o custo social do carbono no Brasil. Ou seja, os impactos decorrentes da emissão de GEE em termos de atividade, saúde e danos ao meio ambiente, como critério geral a ser incluído na análise custo-benefício dos investimentos públicos e o valor objetivo dos sinais de preço necessários para estimular a transição energética.

## Introdução do hidrogênio verde nos segmentos denominados “difíceis de descarbonizar”

### Recomendação 20: Avançar na promoção do desenvolvimento de hidrogênio verde para acelerar a transição energética.

O hidrogênio verde representa uma oportunidade para acelerar a transição e posicionar o Brasil como um líder regional.

Assim, a fim de promover o crescimento e desenvolvimento produtivo do país e a utilização das capacidades e recursos nacionais, devem ser implementadas as seguintes medidas:

- Conduzir o planejamento energético para a formulação de políticas públicas sólidas. Devem ser realizados estudos, análises e consultas a fim de reunir provas empíricas sólidas para a formulação de políticas públicas relevantes. Estas incluem projeções nacionais, as várias tecnologias disponíveis e necessárias para a produção, armazenamento, conversão e transporte de hidrogênio. Incentivar a produção local através de um quadro regulamentar que contribua para apoiar as indústrias e setores intensivos em carbono, que serão os atores catalisadores nesta transição.
- Estratégias devem ser construídas com objetivos específicos de descarbonização por setor para migrar para o hidrogênio verde com um arcabouço regulatório robusto, com regras claras e de longo prazo, juntamente com financiamento competitivo. Neste sentido, o Brasil já está trabalhando no desenho de uma estratégia e, em Julho de 2021, publicou uma proposta de orientações para o desenvolvimento do Programa Nacional de Hidrogênio Verde<sup>54</sup>. Esta estratégia baseia-se nos seguintes princípios:
  - **Valorizar o potencial nacional de recursos energéticos:** reconhecendo as diversas fontes para obtenção do hidrogênio, sendo elas renováveis ou não, bem como a ampla gama de aplicações em múltiplos setores da economia (transportes, energia, siderurgia e mineração, por exemplo);
  - **Ser abrangente:** reconhecendo a diversidade de fontes energéticas e alternativas tecnológicas disponíveis ou potenciais, inclusive as possíveis sinergias, para produção, logística, armazenamento e uso do hidrogênio;
  - **Alinhar-se às ambições de descarbonização da economia:** considerando trajetórias que viabilizem que o hidrogênio contribua para a neutralidade líquida de carbono até 2050;
  - **Valorizar e incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional:** tendo em vista os investimentos e experiências já existentes no País e a necessidade da continuidade do esforço em pesquisa, desenvolvimento e inovação, com vistas à capacitação e autonomia tecnológica e desenvolvimento do sistema produtivo nacional;
  - **Almejar o desenvolvimento de um mercado competitivo:** considerando o potencial de demanda interna e para exportação de hidrogênio, bem como a evolução dos custos e riscos nos horizontes de curto, médio e longo prazos;
  - **Buscar sinergias e articulação com outros Países:** reconhecendo que esse mercado deve ter abrangência global e seu desenvolvimento pode ser acelerado por meio de cooperação e coordenação internacional;
  - **Reconhecer a contribuição da indústria nacional:** o País tem base industrial robusta para a produção de bens de capital, produtos e serviços aptos para contribuir com a economia do hidrogênio.

54 <https://h2lac.org/wp-content/uploads/2022/02/HidrogenioRelatriodiretrizes-comprimido.pdf>

- Esforços devem ser feitos para posicionar o Brasil, considerando sua matriz já desenvolvida em torno da geração de energia essencialmente renovável, como um país de relevância para o desenvolvimento do **Hidrogênio Verde**, promovendo a geração de demanda local e global, para exportar atendendo a demanda dos países do mundo que têm metas para hidrogênio verde e derivados. Os principais usos do hidrogênio verde são: refino, amônia para fertilizantes, metanol, ferro (ferro de redução direta), entre outros. Os e-combustíveis devem ser promovidos pela sua relevância na descarbonização do setor dos transportes (através da captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera + hidrogênio verde produzindo metanol) e porque atingirão níveis competitivos num curto espaço de tempo.
- Até que o preço do hidrogênio verde (que depende em grande parte do custo da energia renovável e do custo dos eletrolisadores) não seja competitivo, serão necessários incentivos (temporários) dos governos para promover a demanda e, assim, sinalizar que aumentem a capacidade de fabricação e a cadeia de suprimentos, como por exemplo o imposto de importação.
- Serão necessários requisitos progressivos para que a indústria avance nessa direção e – para que o hidrogênio verde seja economicamente viável requer escala – dessa forma todos os setores por meio de sinais e incentivos farão a indústria de hidrogênio verde avançar. Um mecanismo que pode ser aplicado é um crédito fiscal de produção para a produção de hidrogênio verde com base no nível de produção “verde”. Além disso, as economias de escala serão reforçadas se forem dados incentivos para padrões de combustível de baixo carbono. Neste sentido, a Câmara Brasileira de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) está atualmente trabalhando para estabelecer uma certificação internacional para o hidrogênio verde, que será um incentivo para a valorização e credibilidade da origem da energia "verde" para sua produção.

A implementação de uma forte política de promoção para o desenvolvimento, produção e utilização de uma indústria H<sub>2</sub>V implica a estruturação de sistemas de incentivos, tarifas, promoção financeira, bem como a adoção de uma lei de promoção H<sub>2</sub>V.

Considerando o fato do contrato de fornecimento assinado pela Unigel para fornecer o ThyssenKrupp a partir de 2023, o **Cenário Net Zero** considera uma expectativa de que a partir de 2030 o Brasil já tenha capacidade de gerar hidrogênio, em primeira instância, para autoconsumo nos setores de transporte e indústria. Nesse mesmo cenário, assume-se que, **até 2050, o país deverá ter uma capacidade de geração de 40 milhões de toneladas de óleo equivalente**, das quais 0,1 milhão de toneladas de óleo equivalente serão utilizadas para transporte de cargas pesadas, 11,2 milhões de toneladas equivalentes de óleo serão direcionadas para a descarbonização do setor industrial, e os 28,7 milhões de toneladas equivalentes restantes de petróleo serão exportados, gerando receita cambial para o Brasil como resultado dessa atividade.



# Conclusões

Para alcançar a meta de neutralidade de carbono até 2050, tanto na administração pública quanto no setor privado brasileiro, são necessárias ações decisivas para liderar a mudança no modelo energético. A luta contra as alterações climáticas exige a mudança de padrões e modos de consumo, a utilização massiva de energias renováveis e um enorme esforço de eficiência energética. Tudo isso requer a mobilização dos diferentes atores para viabilizar os investimentos necessários em geração, em infraestrutura, em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P+D+I), em novas formas de construção e nos usos finais de energia. Essa mudança exigirá o envolvimento e a conscientização da sociedade como um todo.

Nos capítulos anteriores, elencamos uma série de políticas que, se implementadas em tempo hábil, permitirão atingir os objetivos traçados em termos de descarbonização.

Os resultados deste estudo indicam que, para alcançar a neutralidade de carbono até 2050, será necessário um investimento total de US\$ 407,6 bilhões, abrangendo todos os setores econômicos, especialmente na transformação da matriz elétrica, o setor de transporte e o setor ligado ao uso da terra, mudança do solo e silvicultura. Desse total de investimentos, 78% poderiam ser financiados por mecanismos de Precificação de Carbono, com os quais os investimentos líquidos totalizariam US\$ 317,5 bilhões. Porém, os investimentos incrementais necessários para alcançar o cenário de neutralidade de carbono são mais do que compensados pelas economias alcançadas pela descarbonização. No Cenário Net Zero, o benefício líquido total para a economia no período 2019-2050 é de US\$ 273 bilhões em 2019. Isso se deve, por um lado, à economia de maior eficiência energética e, por outro, ao benefício gerado em termos de custos sociais de carbono evitados.

Por outro lado, o roteiro de transição energética contempla as disposições do Acordo de Paris em termos de reconhecimento da necessidade de uma transição justa, que visa aumentar a prosperidade e pode ser um motor fundamental na criação de emprego. Envolve tanto o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) nº 8, que busca promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego e o trabalho decente para todos, quanto o ODS nº 13, focado na adoção de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas.

O estudo mostra que, por meio da implementação das recomendações propostas abaixo baseadas nas melhores práticas globais, poderão ser criados 7.981.517 empregos líquidos no país até 2050, entre empregos criados e substituídos.

Em suma, este estudo permite-nos afirmar que a transição energética para zero emissões até 2050 não só gera um impacto ambiental positivo, mas também é benéfica em termos econômicos e que esse benefício atinge os diferentes setores da sociedade, dentro de uma transição justa que favorece a geração de empregos e maior poder de consumo.

Deve-se notar que os resultados apresentados neste estudo correspondem a informação recolhida durante o ano de 2022 e que poderá ser atualizada à medida que novos dados forem obtidos e/ou se materializem mudanças disruptivas em termos tecnológicos. Esperamos que o exposto aqui sirva de base para discussões futuras sobre a transição energética no Brasil.

# Contatos



**Cristian Serricchio**  
**Sócio de Finanças**  
**Sustentáveis, FA**  
Deloitte Spanish Latin America  
cserricchio@deloitte.com



**Sebastián Yopez**  
**Sênior de Finanças**  
**Sustentáveis, FA**  
Deloitte Spanish Latin America  
syopez@deloitte.com



**Damián Grignaffini**  
**Gerente de Finanças**  
**Sustentáveis, FA**  
Deloitte Spanish Latin America  
dgrignaffini@deloitte.com



**Clara Mackey**  
**Sênior de Finanças**  
**Sustentáveis, FA**  
Deloitte Spanish Latin America  
cmackey@deloitte.com



**Tomás Cardozo Etcheverry**  
**Sênior de Finanças**  
**Sustentáveis, FA**  
Deloitte Spanish Latin America  
tcardozoetcheverry@deloitte.com

# Deloitte.

A Deloitte refere-se a uma ou mais empresas da Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), sua rede global de firmas-membro e suas entidades relacionadas (coletivamente, a “organização Deloitte”). A DTTL (também chamada de “Deloitte Global”) e cada uma de suas firmas-membro e entidades relacionadas são legalmente separadas e independentes, que não podem se obrigar ou se vincular a terceiros. A DTTL, cada firma-membro da DTTL e cada entidade relacionada são responsáveis apenas por seus próprios atos e omissões, e não entre si. A DTTL não fornece serviços para clientes. Por favor, consulte [www.deloitte.com/about](http://www.deloitte.com/about) para saber mais.

A Deloitte é líder global de auditoria, consultoria empresarial, assessoria financeira, gestão de riscos, consultoria tributária e serviços correlatos. Nossa rede global de firmas-membro e entidades relacionadas, presente em mais de 150 países e territórios (coletivamente, a “organização Deloitte”), atende a quatro de cada cinco organizações listadas pela Fortune Global 500®. Saiba como os cerca de 415 mil profissionais da Deloitte impactam positivamente seus clientes em [www.deloitte.com](http://www.deloitte.com).