

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

FERROVIÁRIO



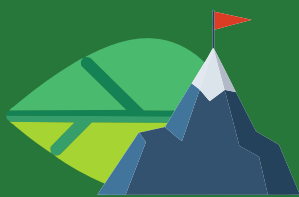
COALIZÃO DOS TRANSPORTES

COMO TORNAR O SETOR DE TRANSPORTES UM CONTRIBUIDOR
ATIVO PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES BRASILEIRAS



CNT / SEST SENAT / ITL
Sistema Transporte





CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

- A Nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil e o Plano Clima representam **oportunidades para posicionar o país como um líder global de descarbonização**, especialmente por ser a sede da COP30, em 2025.
- O setor de transportes é crítico, sendo responsável por **~11% das emissões brutas nacionais (260 Mton em 2023, visão poço à roda¹); ~1,6% das emissões de transportes são provenientes do modo ferroviário.**
- Dado o crescimento esperado para o país, em um cenário de inação, as emissões do modo ferroviário podem atingir **5,5 Mton CO₂e em 2050.**



A COALIZÃO

- A magnitude do desafio exige mobilização e debate amplo pelo setor de transportes.
- **Liderada por Motiva, CEBDS, CNT e o Observatório de Mobilidade do Insper**, a Coalizão mobilizou **+50 entidades de 6 verticais**: Mobilidade Urbana, Rodoviário, Ferroviário, Aquaviário, Aeroviário e Infra/Transversalidade.



OBJETIVOS INICIAIS

- O esforço, iniciado em Nov/2024, desenvolvido a partir da **contribuição ativa das entidades da coalizão e dados primários** disponíveis até Fev/2025, materializou entregas importantes, como:
 1. Mensuração do baseline de emissões em 2050²;
 2. Mapeamento de 90 alavancas de descarbonização;
 3. Quantificação de impactos para a trajetória de descarbonização.

As conclusões deste estudo resultam de um esforço coletivo em prol da descarbonização sustentável do setor de transportes, com base nas tecnologias e informações atualmente disponíveis, e poderão evoluir com novos avanços futuros.

1. Emissão do setor de transportes calculada com base em outras fontes externas ao SEEG; 2. Baseline 2050 é uma projeção baseada em estimativas de crescimento de passageiros e carga e visão inercial da matriz de consumo de combustível.

FERROVIÁRIO – ENTIDADES INTEGRANTES

O presente documento contou com o apoio das seguintes entidades do modo de transporte ferroviário



COORDENAÇÃO



DEMAIS INTEGRANTES



OBSERVATÓRIO
NACIONAL DE MOBILIDADE
SUSTENTÁVEL



CENTRO DE
ESTUDOS
DAS CIDADES

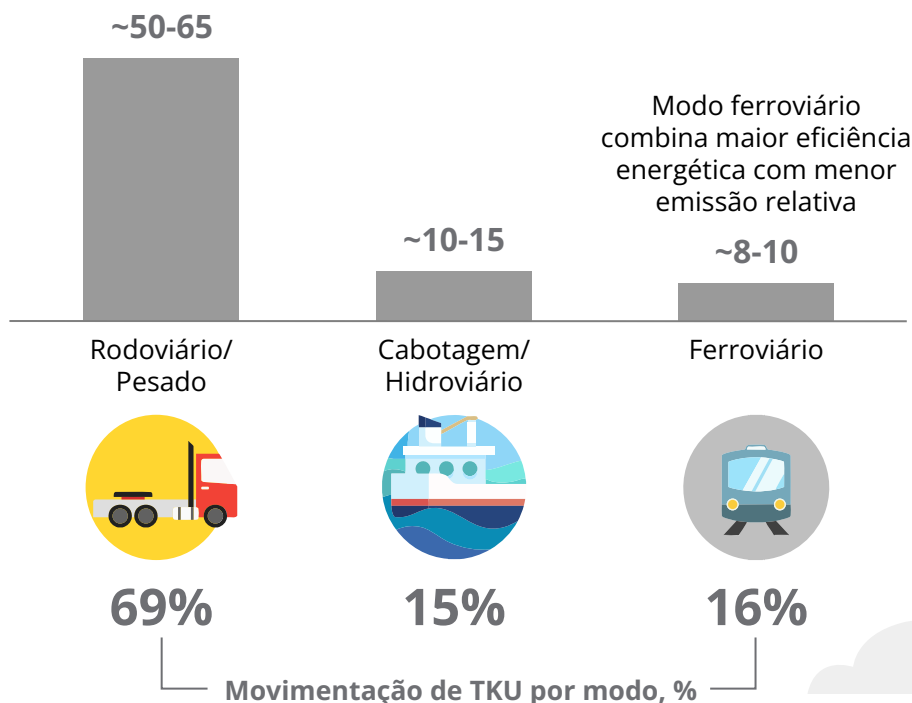


ENTIDADES TRANSVERSAIS
CONSULTIVAS

COMPARAÇÃO DO NÍVEL DE EMISSÕES POR MODO DE CARGA EM 2022 (CO₂e/TKU)

O modo ferroviário tem natureza menos poluente em comparação aos demais modos de transporte (ex.: emite cerca de 6x menos CO₂e por TKU do que o modo rodoviário). Atualmente, representa 16% das movimentações de carga nacionais e emite ~1,6% do volume de CO₂e de transportes, o que reforça sua eficiência em emissões.

EMISSIONES RELATIVAS POR MODO DE TRANSPORTE¹ (gCO₂e/TKU)

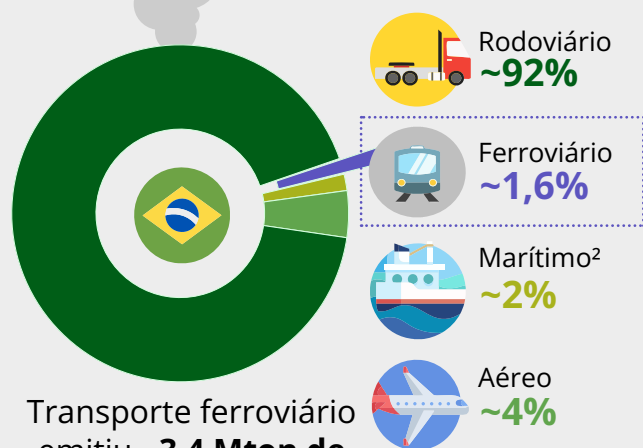


Matriz de transportes mais eficiente e mais rebalanceada, que explore o potencial de cada modo de forma integrada, é essencial para desenvolvimento socioeconômico do país.

1. Restrito a transporte ferroviário de cargas; Trens de passageiros/urbanos foram considerados em Mobilidade Urbana; Fontes: Baseado em dados da ANTF e SEEG 2022.

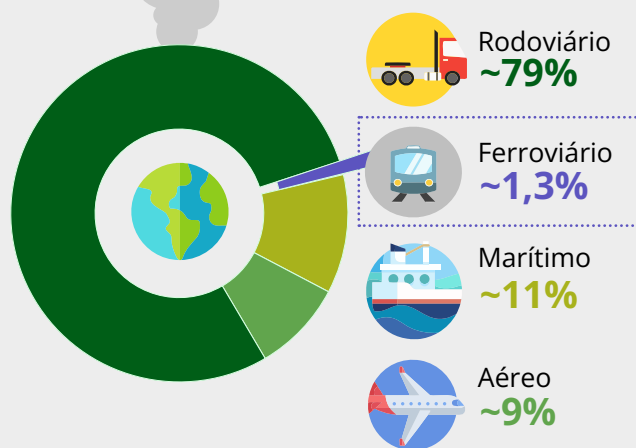
EMISSÕES¹ DO MODO FERROVIÁRIO REPRESENTAM ~1,6% DO TOTAL DE TRANSPORTES NO BRASIL

Emissões brutas
Brasil (% – 2023)



Transporte ferroviário
emitiu ~3,4 Mton de
CO₂e no Brasil em 2023.

Emissões brutas
Mundo³ (% – 2019)



1. Emissões de transportes reportadas pelo SEEG são restritas à queima de combustíveis; 2. Considera cabotagem e navegação interior, sem long haul; 3. Valor global excluindo Brasil;
Fontes: Anfavea; SEEG; CAIT; Climate TRACE.



PANORAMA ATUAL – MODO FERROVIÁRIO

Indicadores relevantes
ajudam no entendimento
do panorama atual do
modo ferroviário

2023

30,8
mil Km

Tamanho
da malha

3.123

Número de
locomotivas

531
milhões

TU

3,4

Emissão
MtCO₂e

1,3BL

Combustível
(Diesel)

3,4L

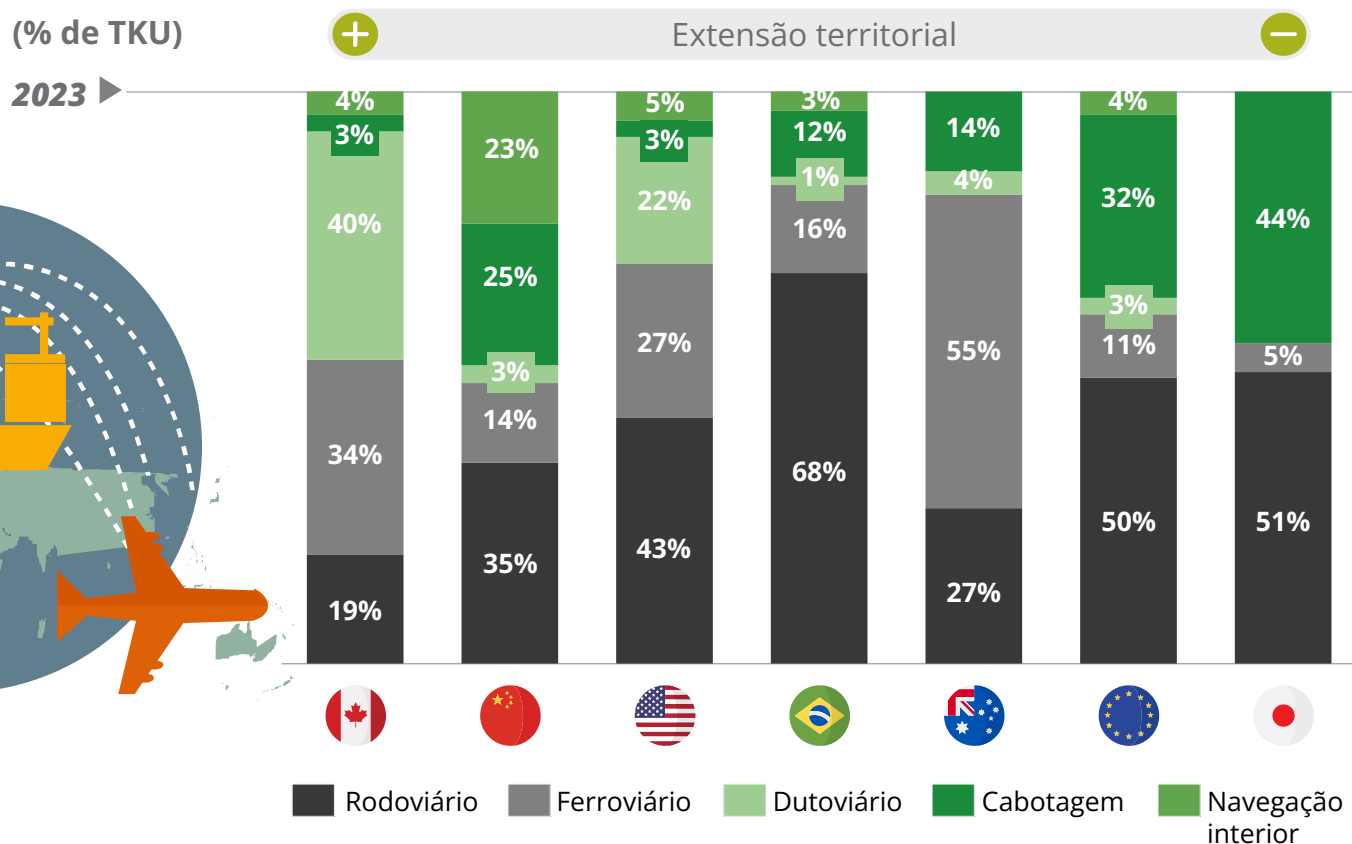
L/mil TKU
(Diesel)

390
Bilhões

TKU

MODO FERROVIÁRIO TEM MENOR REPRESENTATIVIDADE RELATIVA NO BRASIL VERSUS OUTROS PAÍSES

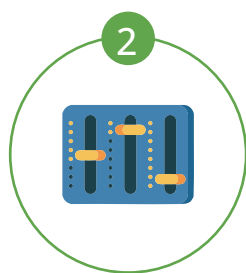
Comparação da matriz de transportes de carga do Brasil com outros países deixa claro que a matriz atual é majoritariamente rodoviária.



ABORDAGEM I QUATRO ETAPAS PARA DESCARBONIZAÇÃO DO MODO FERROVIÁRIO



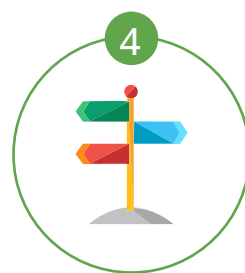
Definição de projeções para o total de emissões do setor, **sem mudanças na participação dos diferentes modos na matriz de transportes;**



Definição de projeções para o total de emissões do setor, **com mudanças na participação dos diferentes modos na matriz de transportes;**



Mapeamento das alavancas para **redução de emissões aplicáveis ao modo de transporte;**



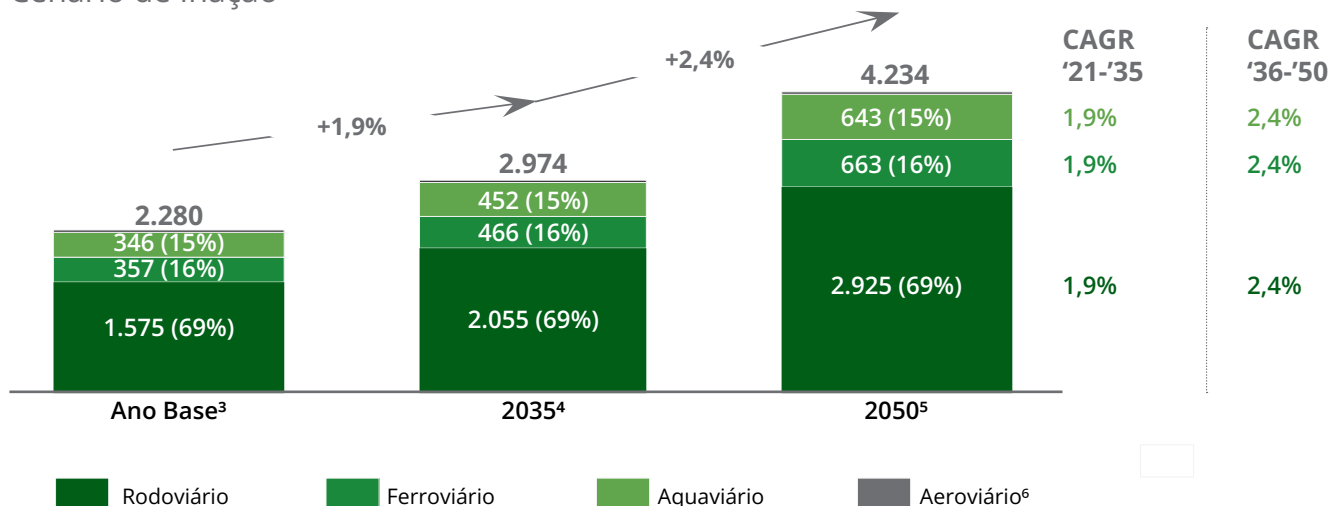
Proposição de possíveis **sensibilidades com base nas alavancas mapeadas.**

1 DEFINIÇÃO DO BAU¹ DE EMISSÕES SEM MUDANÇAS NA MATRIZ DE TRANSPORTE

Em um cenário de inação, o total de emissões de transportes chegaria a ~424 Mton CO₂e em 2050. Neste contexto, a representatividade dos modais na matriz de transportes nacional se manteria inalterada (ferroviário permaneceria com 16%).

EVOLUÇÃO DA MATRIZ DE CARGAS² (BILHÕES TKU, %)

Cenário de Inação

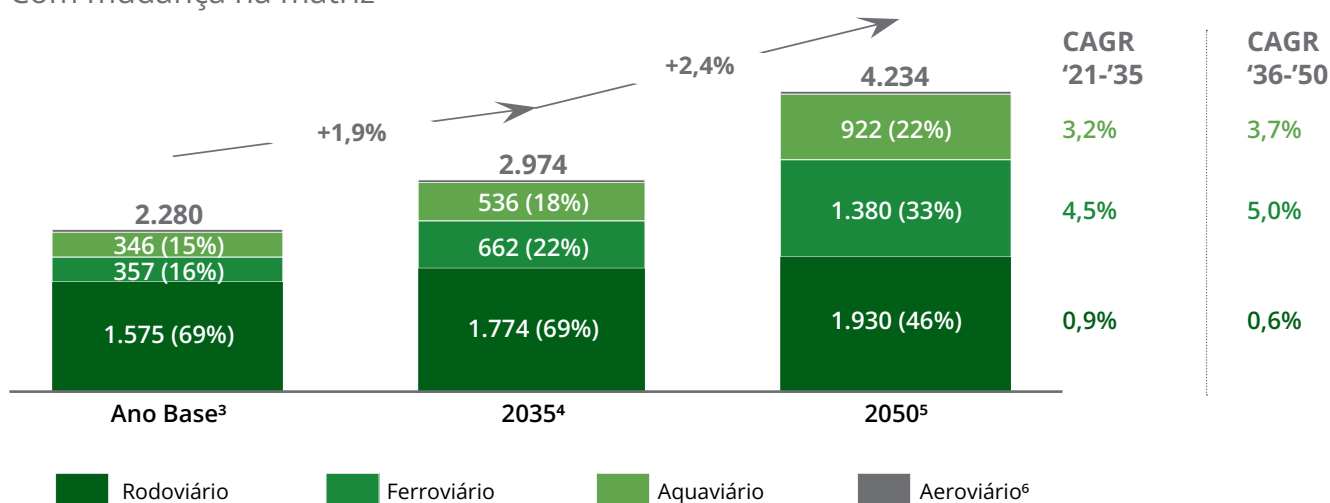


2 DEFINIÇÃO DO BAU¹ DE EMISSÕES COM MUDANÇAS NA PARTICIPAÇÃO DOS MODOS DE TRANSPORTE

Na segunda etapa, foi explorado um cenário alternativo no qual a participação do ferroviário na matriz de transportes poderia ser ampliada, o que já seria capaz de gerar impactos de redução de emissões em função do menor fator de emissão relativo (gCO₂/TKU) deste modo vs outros mais emissores.

EVOLUÇÃO DA MATRIZ DE CARGAS² (BILHÕES TKU, %)

Com mudança na matriz

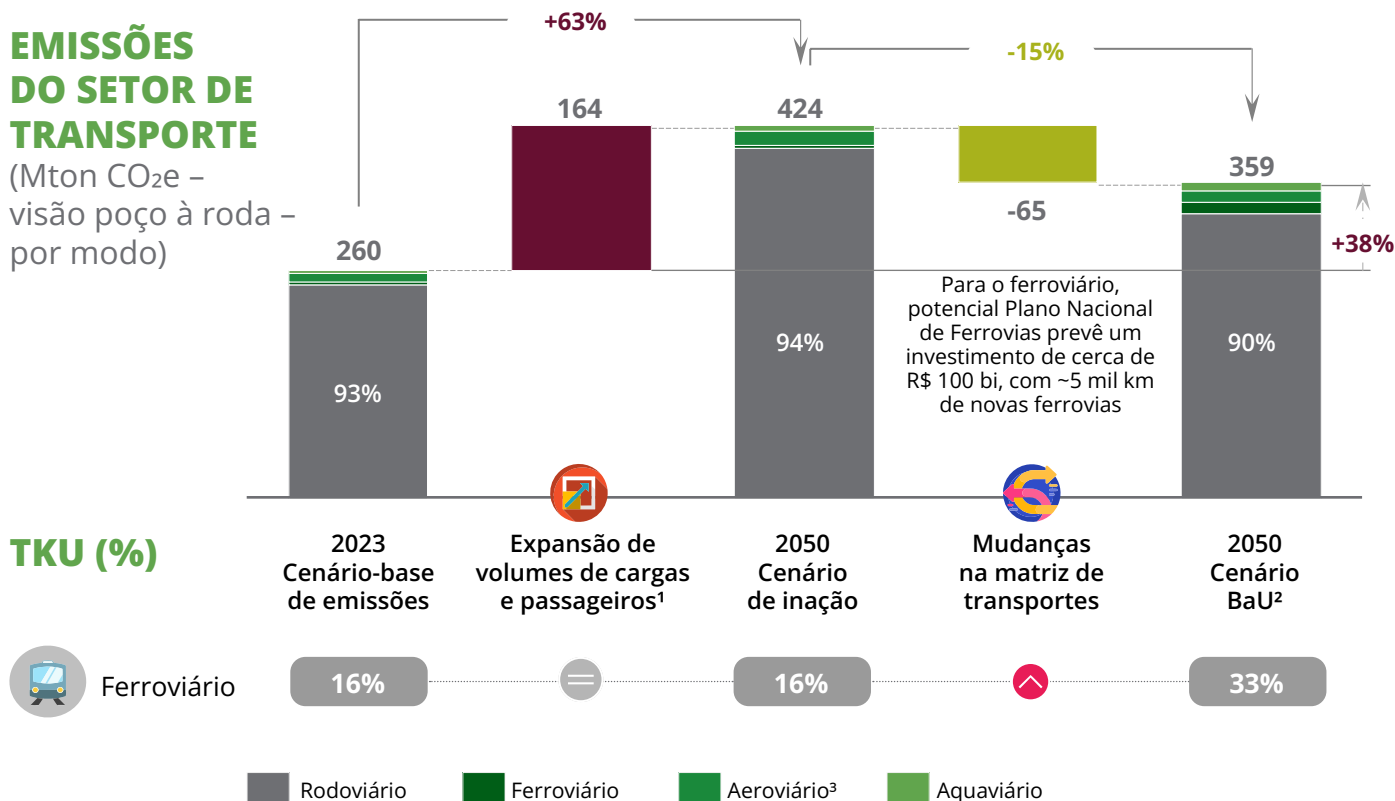


1. BaU = Business-as-Usual; 2. Projeções baseadas nos Planos Setoriais de Transportes (PSTR e PSTF) e no PNL 2035 – Plano Nacional de Logística; 3. 2021 foi o ano de realização do PNL/PSTF, além de apresentar parâmetros históricos mais fidedignos; 4. Valores de TKU 2035 são referentes ao cenário PSR1 do PSTR; 5. TKU projetado a PIB com share do cenário PSR3 do PSTR; 6. Emissões do modo aeroviário não estão relacionadas ao transporte de cargas, apenas ao de passageiros; Fontes: Infra S.A; Ministério dos Transportes; Ministério da Infraestrutura.

Em resumo, o balanceamento na matriz de transportes brasileira mitigaria cerca de 15% (considerando a mudança de matriz prevista nos modos ferroviário e aquaviário) do volume esperado de emissões de CO₂ até 2050:

EMISSIONES DO SETOR DE TRANSPORTE

(Mton CO₂e – visão poço à roda – por modo)



1. Aumento de emissões devido crescimento esperado da demanda de TKU e passageiros até 2050; 2. Business-as-usual; 3. Emissões do modo aeroviário não estão relacionadas ao transporte de cargas, apenas ao de passageiros.

3 MAPEAMENTO DE ALAVANCAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES

Após a apresentação da matriz de transportes, foram identificadas pelo grupo de trabalho alavancas com potencial de reduzir emissões no modo ferroviário.

Tais alavancas foram mapeadas em três grandes blocos, conforme descrito abaixo. Para cada uma delas, foi realizada uma análise¹ de viabilidade qualitativa e apresentadas referências locais e globais que ilustram a respectiva aplicação.

Embora existam diferentes fontes de emissão na cadeia do transporte ferroviário, este documento focou em alavancas com potencial de redução das emissões da queima de combustíveis das locomotivas (visão poço à roda).

BLOCOS DE ALAVANCAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES no modo ferroviário



EFICIÊNCIA



BIOCOMBUSTÍVEIS



ELETRIFICAÇÃO E POWER-TO-X

1. O detalhamento completo das viabilidades e referências encontra-se no documento completo do modo ferroviário, que pode ser acessado via QR Code ao final desse material.



EFICIÊNCIA

Alavancas

- 1 **Aprimoramento de design**, por meio do uso de materiais mais leves para redução do peso das locomotivas e do aproveitamento de novas soluções de aerodinâmica.
- 2 **Renovação da frota atual**, com a substituição de locomotivas mais antigas por outras mais novas, eficientes e com maior capacidade de carga/vagões.
- 3 **Otimização de infraestrutura**, por meio do uso de tecnologias e sistemas automatizados para otimizar a operação e manutenção da infraestrutura ferroviária.
- 4 **Otimização inteligente de rotas e frotas**, por meio do uso de tecnologias e sistemas baseados em dados para otimização das operações das locomotivas.
- 5 **Condução ecoeficiente e assistida**, por meio da mudança de comportamento dos maquinistas para otimização do consumo de energia, incluindo o uso de tecnologias.



BIOCOMBUSTÍVEIS

Alavancas

- 1 **Mistura de diesel verde no fóssil** – Diesel verde possui propriedades semelhantes ao diesel fóssil, contudo, sua aplicação no modo ferroviário está em fase inicial de desenvolvimento.
- 2 **Etanol** – amplamente utilizado no Brasil, normalmente adaptado para uso em motores de combustão interna; aplicação no modo ferroviário ainda em fase embrionária, exigindo adaptações de infraestrutura e motores.
- 3 **Biodiesel como alternativa via mistura com diesel fóssil** – aumento do percentual de mistura deve ser feito com cautela.

Potencial intensificação de biocombustíveis para redução da pegada de carbono pode ser aplicada desde que seja constatada a viabilidade técnica, mecânica, operacional e laboratorial do referido insumo energético, bem como respeitada a diversidade de matrizes e especificidades regionais.



ELETRIFICAÇÃO E POWER-TO-X

Alavancas

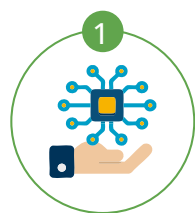
- 1 **Locomotivas movidas por rotas de H₂ baixo carbono** - produção de energia com menor emissão de CO₂; o H₂ de baixo carbono pode ser transformado em rotas como metanol e outras, para que seja mais viável.
- 2 **Locomotivas elétricas** - a energia elétrica é usada como força motriz para os motores de tração das locomotivas elétricas, em substituição aos combustíveis fósseis (tecnologia limitada a curtas distâncias).
- 3 **Locomotivas híbridas** - sistema diesel-elétrico unido a um conjunto de baterias, de tal forma que a fonte energética que alimenta os motores de tração pode vir de ambas as partes.

Alavancas podem ser aplicadas desde que seja constatada a viabilidade técnica e operacional das respectivas soluções.

Fonte: 1. Fontes: Press Search, sites das companhias; ANTF; Senado; Iberdrola – Hidrogênio.

4 PROPOSIÇÃO DE SENSIBILIDADES BASEADAS NAS ALAVANCAS MAPEADAS

Por último, foram propostas sensibilidades para avaliar o impacto de diferentes caminhos de descarbonização:



Tecnologias atuais

Restrito à aplicação de alavancas de eficiência e ao cumprimento de exigências regulatórias;



Intensificação de biocombustíveis

Predominância da aplicação de alavancas de intensificação do uso de biocombustíveis;



Aceleração da eletrificação/Power-to-X

Predominância da aplicação de alavancas de aceleração da eletrificação/power-to-x da frota de locomotivas;



Transformacional

Combinação de esforços considerando as alavancas das sensibilidades 1, 2 e 3 para alcance mais próximo de emissões líquidas zero.

Para fins deste material, iremos analisar apenas o intervalo de impacto entre as sensibilidades mais conservadora (1) e mais arrojada (4) – o detalhamento das demais sensibilidades encontra-se no documento completo, que pode ser acessado via QR Code ao final deste material.



TECNOLOGIAS ATUAIS



TRANSFORMACIONAL



Eficiência

Todas as alavancas de eficiência foram consideradas nas diferentes sensibilidades



Biodiesel² (Mistura no Diesel)

20% em 2030.

20% em 2030, 30% em 2050.

Diesel Verde² (Mistura no Diesel)

–

70% em 2050, com início em 2030.

Etanol²

–

Penetração em linha com o que se poderia esperar para o metanol¹, dadas as mesmas necessidades de adaptação.



Hibridização

0,2% das novas locomotivas em 2050, com 30% de uso de baterias.

45% das novas locomotivas, com 50% de uso de baterias em 2035.

Rotas de H₂ de baixo carbono

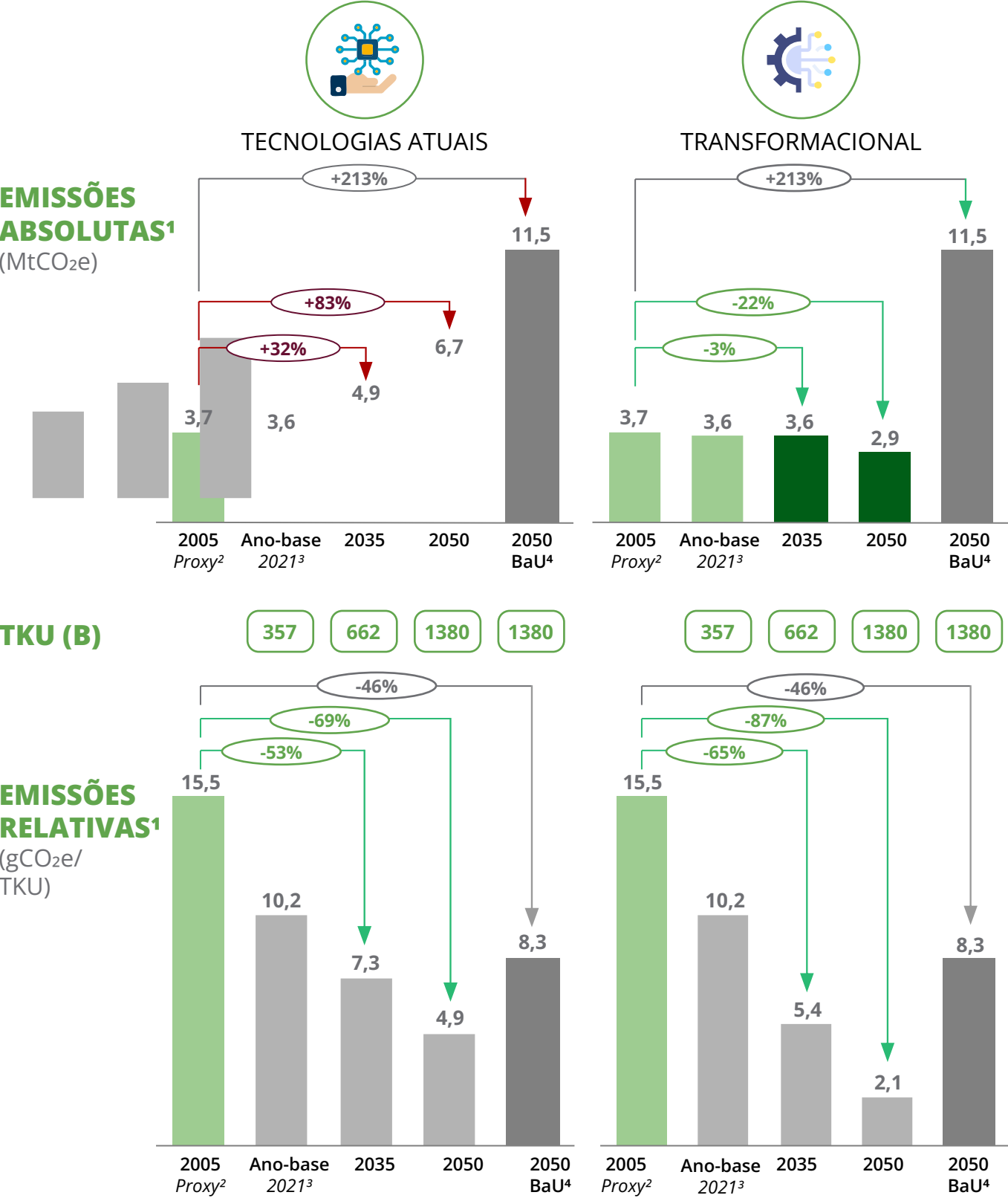
–

20% das novas locomotivas a partir de 2035, via diferentes rotas (ex.: metanol, outras).

1. Rotas de hidrogênio de baixo carbono 2. Intensificação do uso de biocombustíveis deve ser incentivada desde que: seja constatada viabilidade técnica, mecânica, operacional e laboratorial do referido insumo energético, bem como respeitada a diversidade de matrizes e especificidades regionais.

RESULTADOS DAS SENSIBILIDADES EM IMPACTO EM EMISSÕES

Como consequência da implementação das alavancas mapeadas, as emissões do modo de transporte podem **atingir até ~2,9 Mton CO₂e absolutas e ~2,1 gCO₂e/TKU relativas na sensibilidade transformacional em 2050¹** (até ~50% e ~75% de redução vs. cenário de inação no mesmo ano, respectivamente).



1. Fatores de emissão considerados são: poço à roda (WTW, Well-To-Wheel); BaU = Business-as-usual ; 2.Proxy para o valor WTW de 2005, baseada nos números do SEEG de tanque à roda (TTW, Tank-To-Wheel); 3. 2021 foi o ano-base do PSTF/PNL, além de apresentar parâmetros históricos mais fidedignos; 4. BaU=Business-as-Usual, considera as projeções de crescimento do setor previstas pelos Planos Setoriais e PNL 2035, com mudanças na participação dos diferentes modos



EXEMPLOS ILUSTRAM COMO HABILITADORES AJUDAM A VIABILIZAR ALAVANCAS DE DESCARBONIZAÇÃO

INCENTIVOS PÚBLICOS E PRIVADOS PARA VIABILIZAR MAIOR RELEVÂNCIA DO MODO FERROVIÁRIO NA MATRIZ LOGÍSTICA DO PAÍS

Repactuações¹

Evolução das repactuações de contratos de concessão, incluindo o advento de investimentos em expansão de malha e o destravamento de investimentos em aumento de capacidade na malha atual.

Novo marco legal das ferrovias²

Fomento de investimentos via redução regulatória (ex.: incentivo à autorregulação) e viabilização de modelo de outorga mais atrativo para players privados (autorizações), com o objetivo de expandir a capacidade do modo.

Investimentos estruturantes em ferrovias

Continuação de investimentos públicos, como na FIOI³, e de investimentos privados, como os R\$ 4 bilhões da Rumo para conclusão da malha central da FNS⁴, concretizando novo eixo estrutural do modo.

INCENTIVOS A COMPROMISSOS CONCRETOS DE SUSTENTABILIDADE

Programa de Sustentabilidade⁵ (2024)

Fomento a benefícios regulatórios de empresas (ex.: condições diferenciadas para celebração de TACs⁶), condicionais a iniciativas de sustentabilidade.

MECANISMOS TANGÍVEIS PARA FOMENTO AO FINANCIAMENTO PRIVADO

Etihad Rail

Facilitação da emissão de títulos verdes e empréstimos sustentáveis, promovendo a captação de recursos para projetos sustentáveis e tecnologias de baixo carbono.

MOVIMENTOS CONCRETOS DO SETOR PRIVADO VIA PARCERIAS EM PROL DO DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS MAIS LIMPAS

Alstom e Linde

Desenvolvimento da primeira locomotiva a hidrogênio da Europa, que começou a operar em 2017.

Vale e Wabtec

Parceria para desenvolvimento de locomotivas elétricas à bateria, menos poluentes.

1. Lei nº 13.448/2017; 2. Lei nº 14.273/2021; 3. Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL); 4. Ferrovia Norte-Sul (FNS); 5. Resolução ANTT 6.057 (2024); 6. Termos de Ajustamento de Conduta; Fontes: ANTF; IBPF; Revista Ferroviária; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes; Ministério dos Transportes.

AMBICIONAMOS UM CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL PARA O MODO FERROVIÁRIO

Considerando o crescimento previsto para o setor, o modo ferroviário deve alcançar **33% do TKU transportado em 2050 (vs 16% no ano-base¹)** enquanto **emissões de CO₂e devem representar apenas ~2% do total de transportes do Brasil** na sensibilidade transformacional no mesmo ano (vs 1,6% no ano-base¹).



Conclusões ambicionadas pelo trabalho em direção ao modo ferroviário no Brasil em 2050:

FERROVIÁRIO ATUAL¹

 **16% DO TKU** nacional transportado.

 **~0,1 BILHÃO DE LITROS** de biocombustíveis consumidos.

 **~0% DAS LOCOMOTIVAS** híbridas.

 **~0% DAS LOCOMOTIVAS** movidas por rotas de H₂ de baixo carbono.

FERROVIÁRIO FUTURO²

 **33% DO TKU NACIONAL** transportado.

 **~1,0 BILHÃO DE LITROS** de biocombustíveis consumidos.

 **~60% DAS LOCOMOTIVAS** híbridas.

 **EXPANSÃO DE ROTAS DE H₂³** dada a materialização da tecnologia.

1. 2021 (ano-base do PSTF/PNL, além de apresentar parâmetros históricos mais fidedignos); 2. 2050 Transformacional 3. De baixo carbono

MODO FERROVIÁRIO

Escaneie o QR Code para acessar o documento completo

