

Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil

Perspectiva do ciclo de vida completo dos veículos

Relatório de Publicação

13 DE OUTUBRO DE 2025





Autores, co-autores e participantes - BCG Brasil



Masao Ukon
Managing Director & Senior Partner
BCG Brazil



Ricardo Pierozzi
Managing Director & Partner
BCG Brazil



Felipe Carvalho
Project Leader



Carolina Bernardi
Consultant



Beatriz Marzola
Associate

Objetivos

Estudo realizado ao longo do segundo semestre de 2025 em parceria ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e BCG, com o objetivo de avaliar as emissões de gases de efeito estufa "do berço ao túmulo" da cadeia automotiva brasileira, em comparação com outras geografias relevantes.

Sem a ambição de criar informações primárias novas, propor metas setoriais ou seguir uma metodologia técnica rígida, o estudo consolida referências públicas e a experiência do BCG para contribuir nas discussões da descarbonização da cadeia.

Ao longo do estudo, foram realizadas sessões técnicas, workshops colaborativos e análises comparativas, visando identificar e debater as oportunidades, desafios e alavancas para a descarbonização do setor com os associados da Anfavea.



Glossário de termos utilizados neste documento

ACV: Avaliação do Ciclo de Vida

B100: Veículos movidos a 100% biodiesel

B0/7/15/25: Veículos com 0/7/15/25% de mistura de biodiesel no diesel

Berço ao túmulo: avaliação do ciclo completo do veículo (desde extração de matérias-primas até reciclagem)

BEV: Veículos elétricos a bateria

H2: Veículos movidos a hidrogênio (combustão interna ou célula de combustível)

CO₂e: equivalência de emissões de diferentes gases de efeito estufa

E100: Veículos movidos a 100% etanol

E2/7/10/20/30/35: Veículos com 2/7/10/20/30/35% de mistura de etanol na gasolina

FE: Fator de emissão de CO₂e

Flex: Veículos com motorização flex (gasolina/etanol)

GEE: Gases de Efeito Estufa (CO₂, CH₄, N₂O, outros)

ICEV: Veículos a combustão interna

Média Brasil: média de consumo de combustível do Brasil (etanol e gasolina)

HEV/MHEV: Veículos híbridos e/ou híbridos leves

PHEV: Veículos híbridos plug-in

Poço à roda: emissões da cadeia da energia/combustível utilizada (produção, distribuição e uso no veículo)

xEV: Veículos eletrificados (MHEV, HEV, PHEV, BEV)

xNG: Veículos movidos a gás (GNV, biometano)

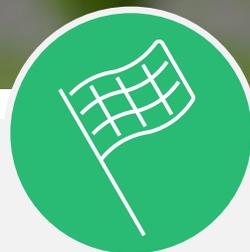


Conteúdo |

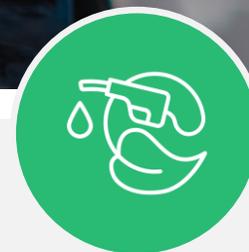
Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil: visão expandida do ciclo de vida completo dos veículos



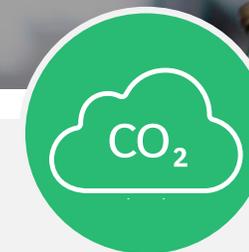
Contexto geral e perspectivas para o setor automotivo



Metodologia "ciclo de vida" para mensuração das emissões associadas à cadeia automotiva



Resultados da análise comparativa da cadeia brasileira em relação a demais regiões



Construção de cenários com potenciais impactos nas emissões de veículos no Brasil



Conteúdo |

Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil: visão expandida do ciclo de vida completo dos veículos



Contexto geral e perspectivas para o setor automotivo



Metodologia "ciclo de vida" para mensuração das emissões associadas à cadeia automotiva



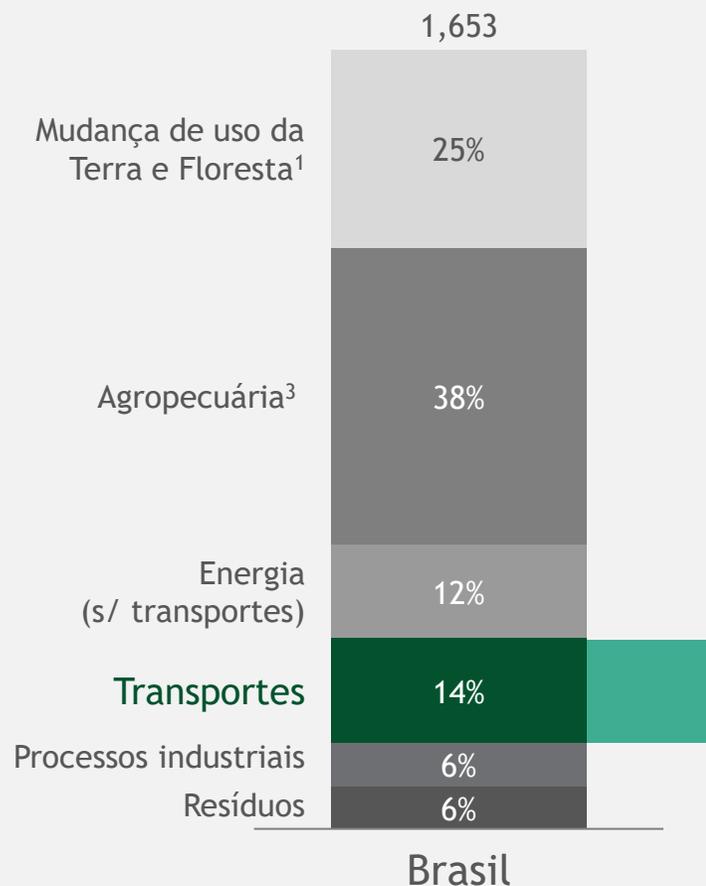
Resultados da análise comparativa da cadeia brasileira em relação a demais regiões



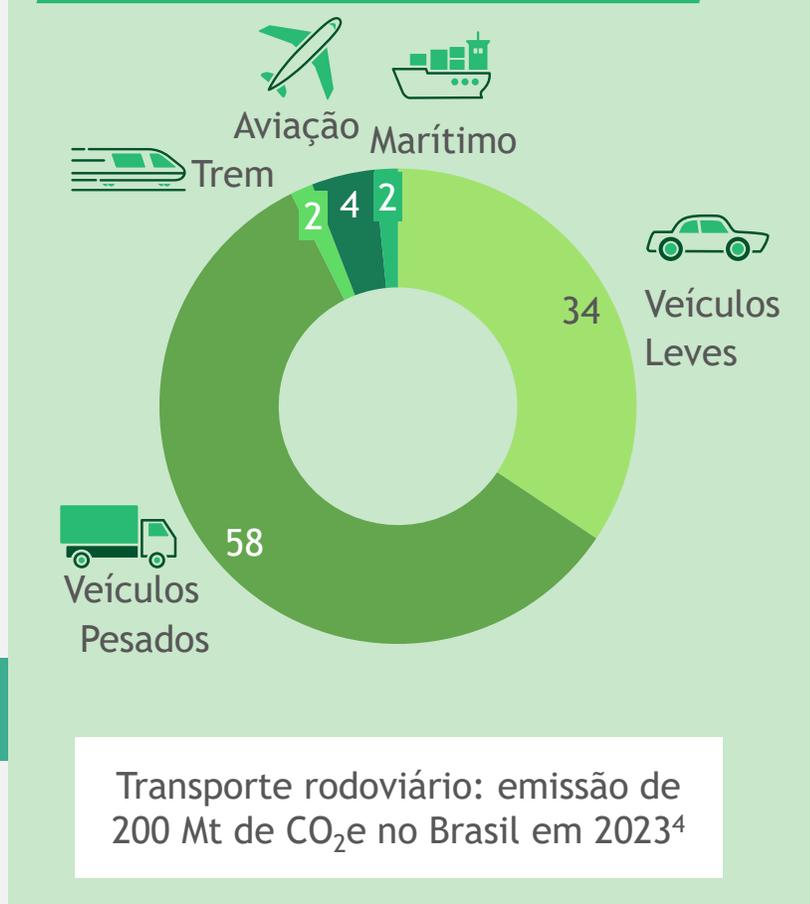
Construção de cenários com potenciais impactos nas emissões de veículos no Brasil

No Brasil, o Rodoviário é o modal mais relevante nas emissões de Transportes

Emissões líquidas por setor (MtCO₂e, 2023)

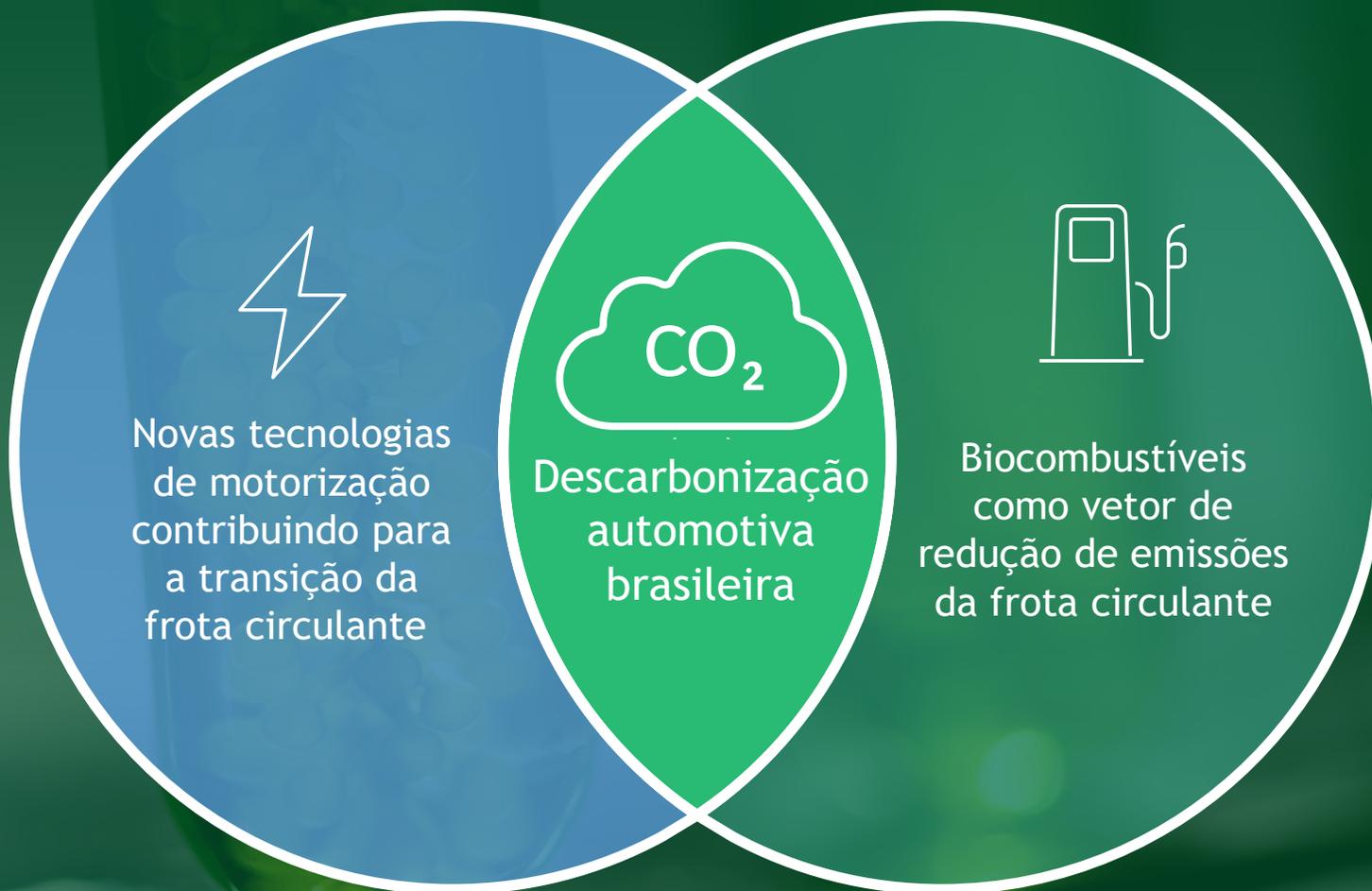


Rodoviário engloba +90% de todas as emissões no setor de transporte



1. Considera captura e liberação de CO₂ atmosférico por mudanças no uso do solo (ex. área florestal transformada em área agrícola). Valores negativos podem existir por mudanças no uso do solo que capturem CO₂ atmosférico.
 2. Inclui Reino Unido na UE. 3. Inclui fertilizantes. 4. Emissões associadas à fase de uso tanque à roda.
 Fonte: SEEG, CAIT, Análise BCG

Brasil tem o potencial para combinar novas tecnologias de propulsão e aplicação de biocombustíveis como vetores para descarbonização do setor automotivo

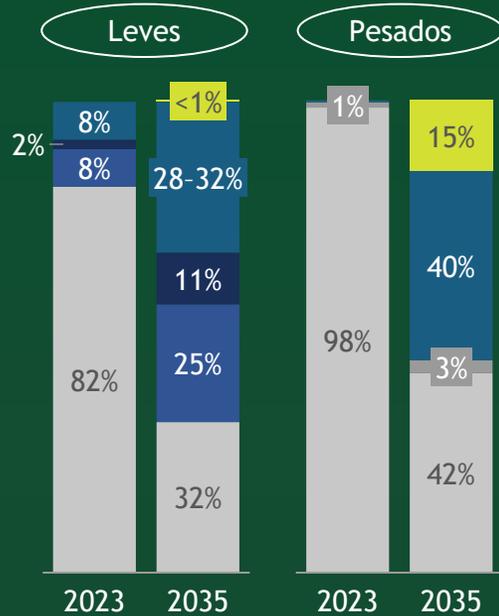


Projeções mostram crescimento de EVs – Brasil segue em ritmo gradual, em particular devido à contribuição dos biocombustíveis

Estimativas BCG para 2035

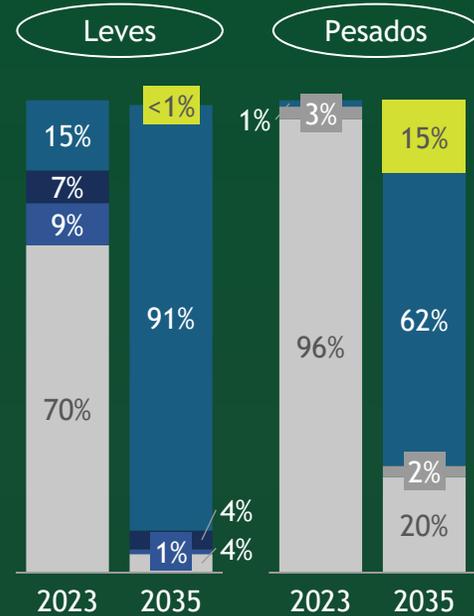
Projeções de vendas

(% de veículos novos)



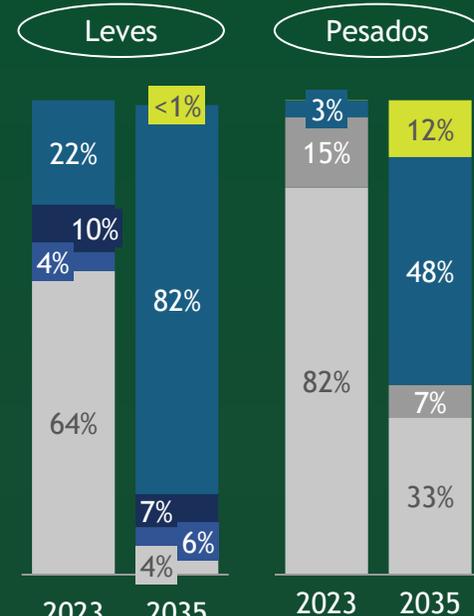
Projeções de vendas

(% de veículos novos)



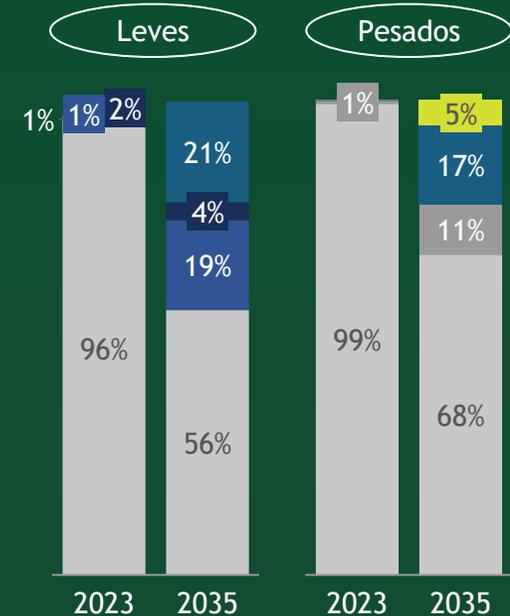
Projeções de vendas

(% de veículos novos)



Projeções de vendas

(% de veículos novos)



H2 BEV PHEV HEV ICE xNG

Nota: Inclui veículos leves com peso inferior a 3,5 t; EU27: União Europeia (27) + EFTA + Reino Unido; China Continental; FCEV = veículo elétrico a célula de combustível; BEV = veículo 100% elétrico; PHEV = veículo híbrido plug-in; HEV = veículo híbrido; ICE = motor a combustão interna (diesel + gasolina + MHEV); MHEV = veículo híbrido leve. As projeções para veículos pesados são baseadas no modelo da BCG (2023) e incluem caminhões médios e pesados com Peso Bruto Total (PBT) superior a 6 toneladas. Fonte: S&P GADT (03/2025), modelo de powertrain do BCG (05/2025); Anfaeva & BCG - Avançando nos caminhos da descarbonização automotiva no Brasil (2024) .

Avançando nos Caminhos da Descarbonização Automotiva no Brasil (2024)



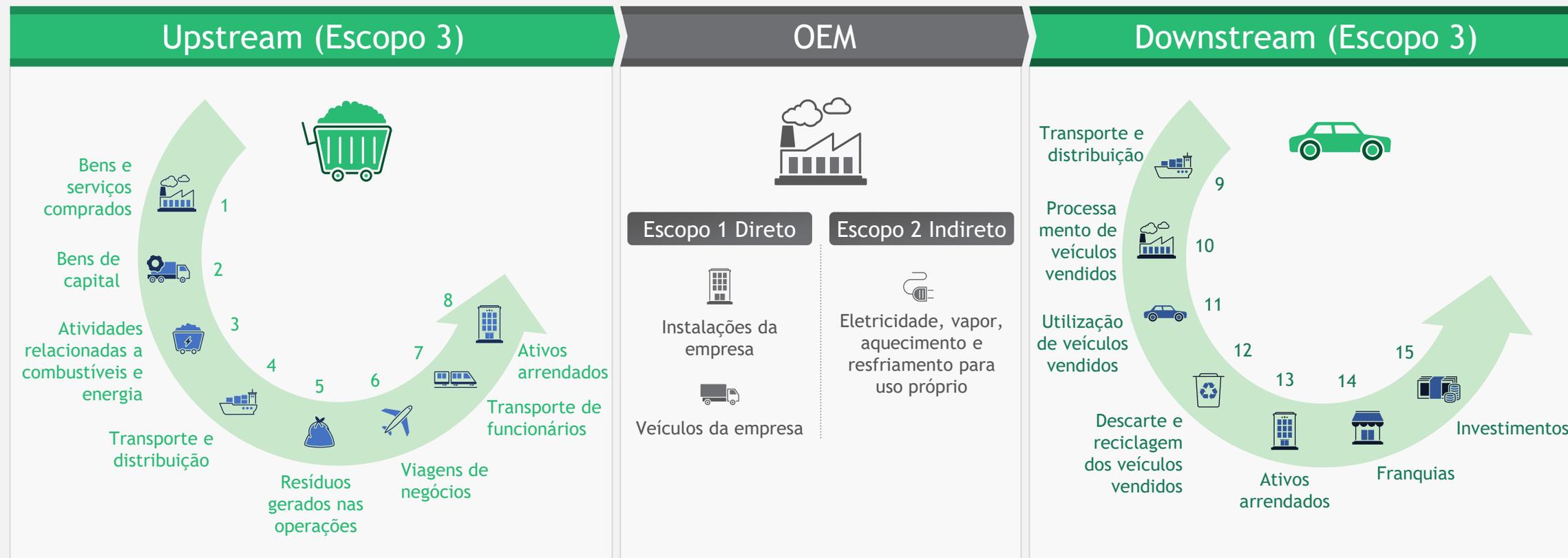
Changing Lanes: EV Strategies in the US, Europe, and China (2025)



Esforço deste estudo busca avaliar toda a cadeia automotiva para identificar as principais fontes de emissões

Emissões de OEMs por escopo (%)

 Veículos Leves  Veículos Pesados



Para OEMs, +90% das emissões estão concentradas no Escopo 3, ligadas ao uso dos veículos e à cadeia de suprimentos

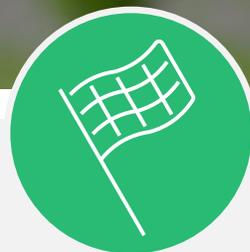


Conteúdo |

Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil: visão expandida do ciclo de vida completo dos veículos



Contexto geral e perspectivas para o setor automotivo



Metodologia "ciclo de vida" para mensuração das emissões associadas à cadeia automotiva



Resultados da análise comparativa da cadeia brasileira em relação a demais regiões

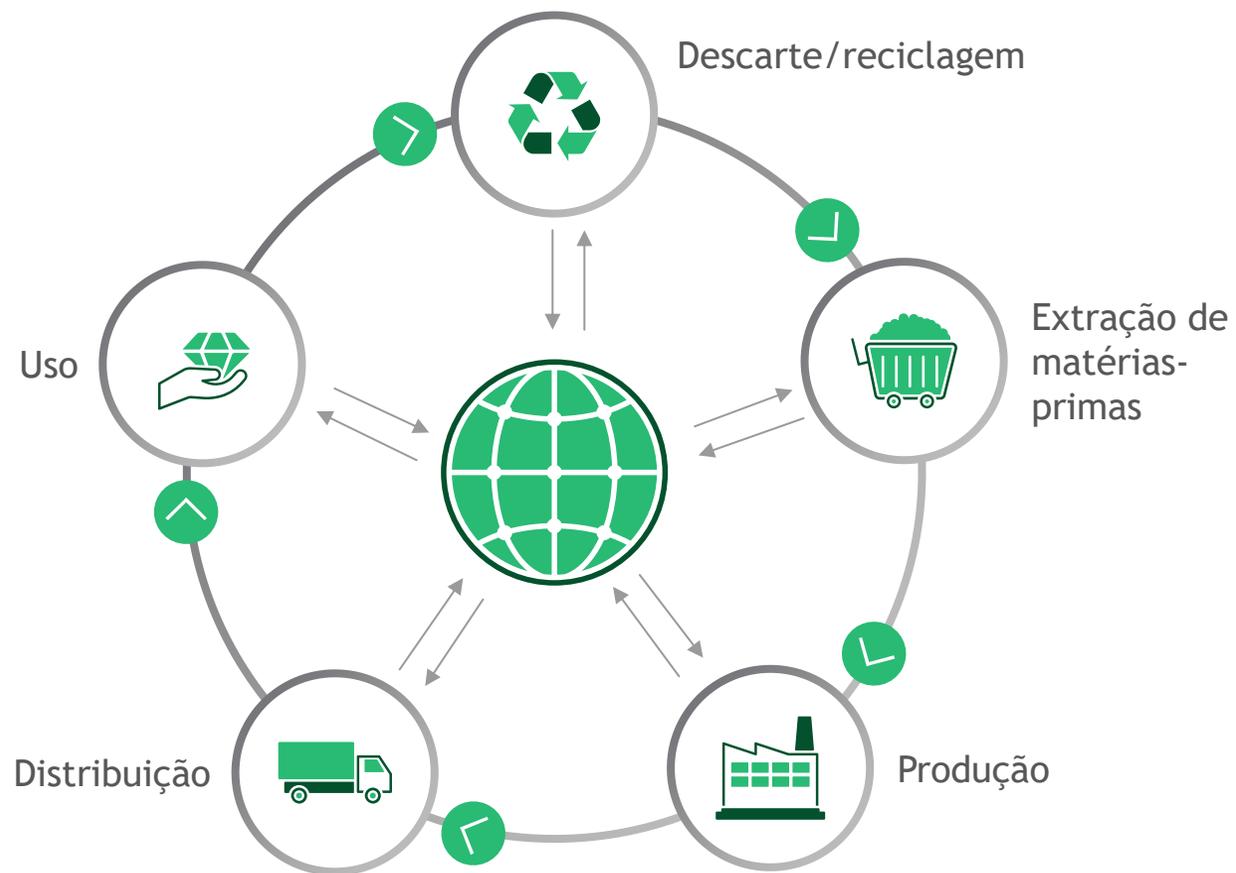


Construção de cenários com potenciais impactos nas emissões de veículos no Brasil

Estudo adota a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida para mensurar emissões associadas ao veículo



- Avaliação do Ciclo de Vida é uma análise quantitativa dos impactos ambientais de um produto, processo ou serviço
- Com ACV, é possível avaliar os impactos ambientais de determinado produto ou serviço em qualquer estágio do ciclo de vida



Emissões de GEE foram calculadas com base em dados de atividade e fatores de emissão relacionados ao ciclo de vida do veículo



CO₂e

CO₂ equivalente

Métrica definida pelo IPCC que consolida todos os gases de efeito estufa com base no potencial de aquecimento global (GWP-100)



Nível de atividade X Fator de emissão

Indicadores das atividades relacionadas à produção, uso e fim de vida do veículo

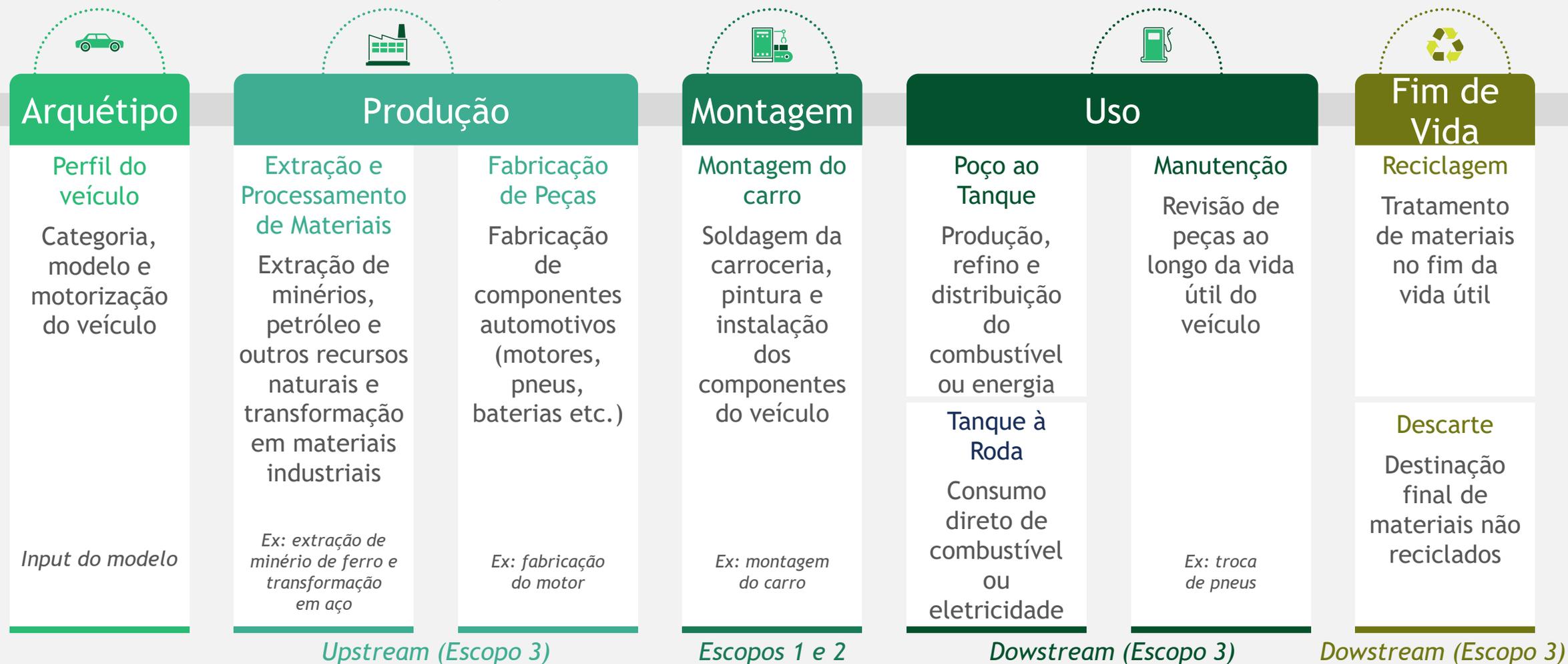
Ex: km rodados, litros de combustível consumidos, kWh de energia para montagem, kg de aço ou alumínio para produção



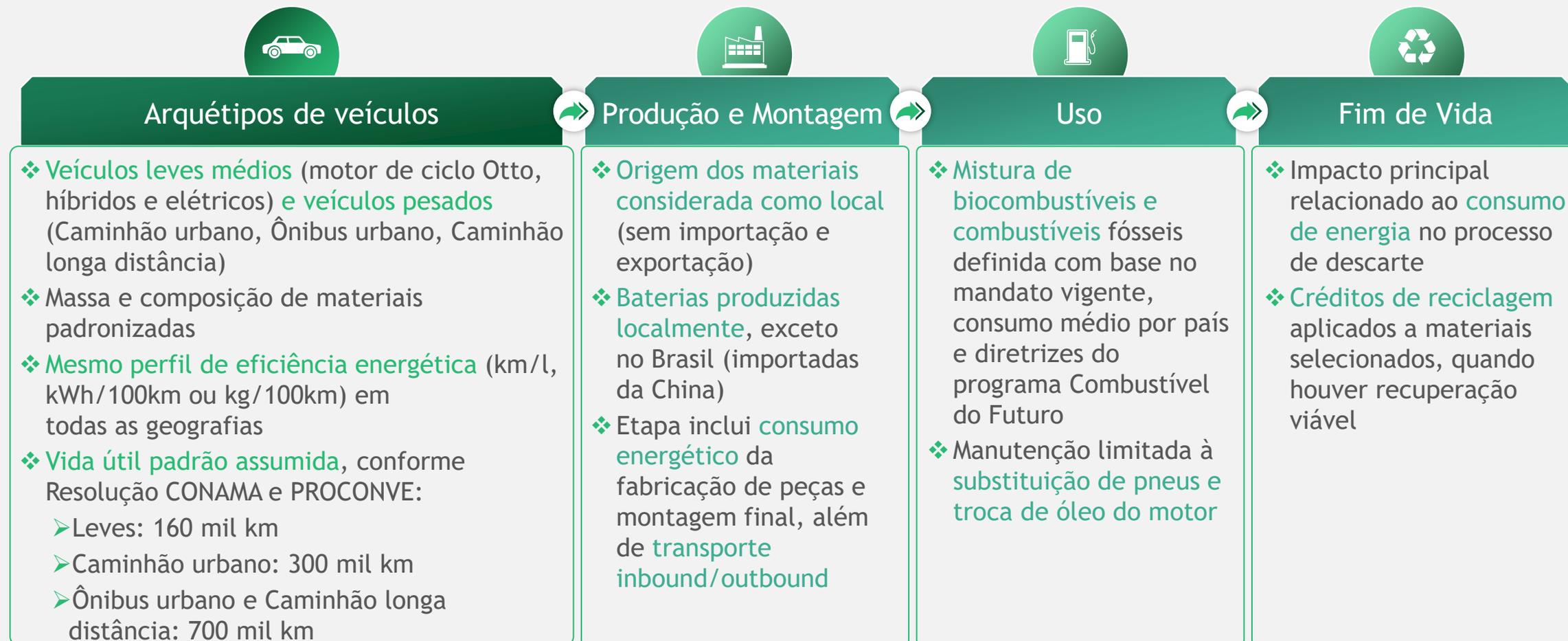
Emissão por unidade de atividade, com base em análises de ciclo de vida (ACV) e fontes científicas

Ex.: X gCO₂e/L de etanol, X gCO₂e/kg de aço, X gCO₂e/kWh

Análise considera etapas do ciclo de vida com maior impacto, estruturadas da extração de matérias-primas ao descarte do veículo



Consideramos um conjunto de premissas comuns, quanto ao perfil de veículos e uso, para permitir comparabilidade entre mercados



Todas as premissas são padronizadas entre geografias para garantir comparabilidade dos arquétipos



Conteúdo |

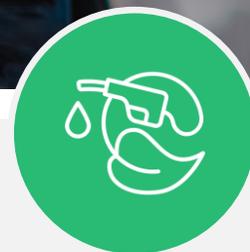
Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil: visão expandida do ciclo de vida completo dos veículos



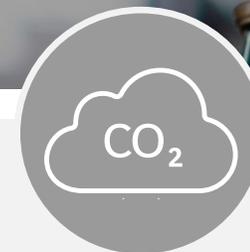
Contexto geral e perspectivas para o setor automotivo



Metodologia "ciclo de vida" para mensuração das emissões associadas à cadeia automotiva



Resultados da análise comparativa da cadeia brasileira em relação a demais regiões



Construção de cenários com potenciais impactos nas emissões de veículos no Brasil

Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida



Veículos Leves



Veículos Pesados



Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida



Veículos Leves



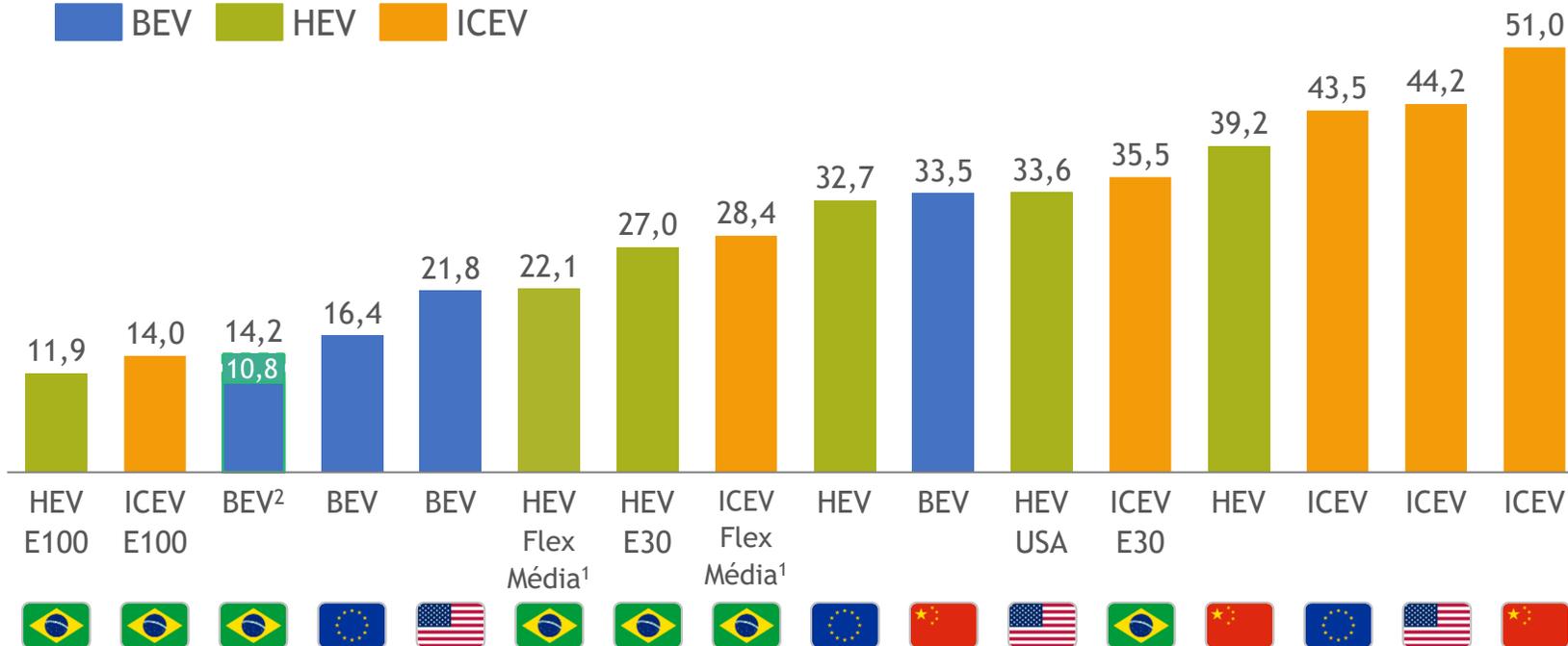
Veículos Pesados

Brasil apresenta as menores emissões entre todas as geografias – destaque para BEVs e motorizações a etanol



Emissões de veículos leves ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

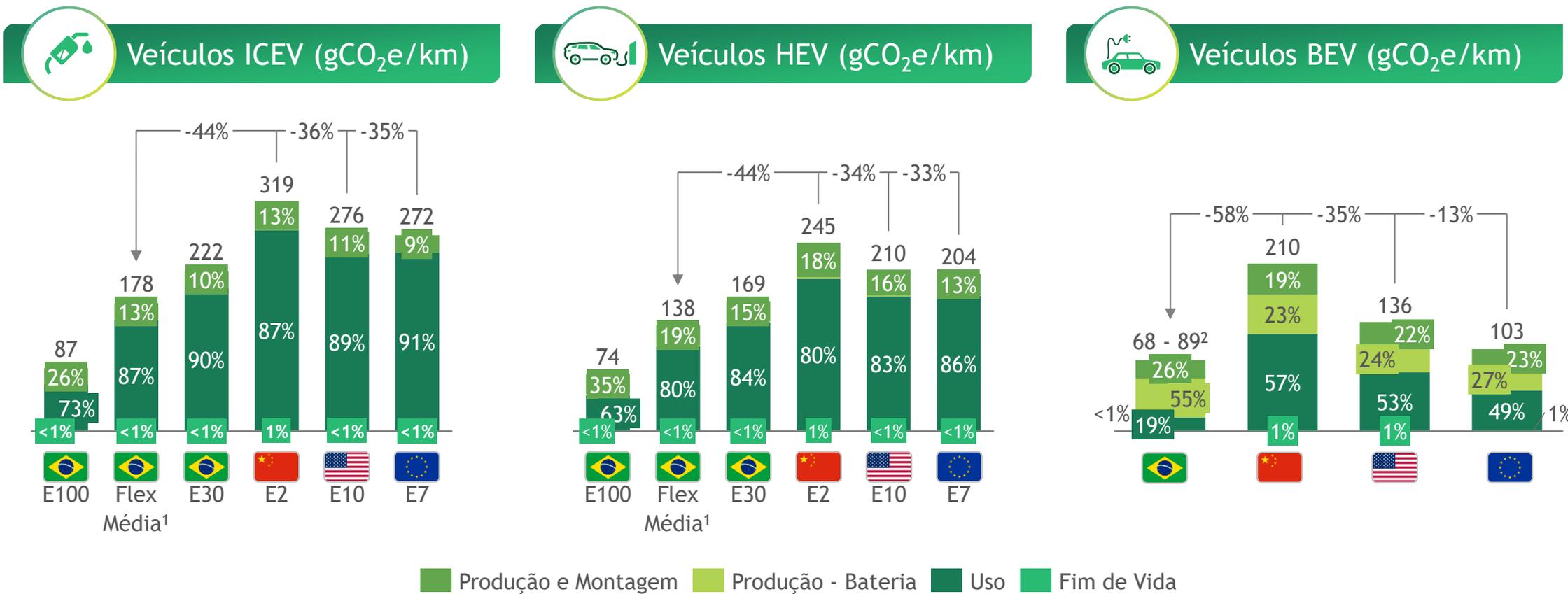
BEV HEV ICEV



- Brasil parte de uma base mais limpa, devido à matriz elétrica 90% renovável, reduzindo a pegada em toda a cadeia
- Em todos os pares analisados, veículos elétricos apresentam a menor pegada, sendo a solução de descarbonização a longo prazo
- Etanol e tecnologia Flex formam uma vantagem única para o Brasil, permitindo reduzir emissões desde já na frota existente, enquanto a eletrificação gradualmente avança

1. Brasil Média: ~33% etanol hidratado e ~67% gasolina (com 30% etanol anidro). 2. Considera baterias de fontes ocidentais, resultando em emissões de 10,8 tonCO₂e (bateria Europa) a 11,7 ton CO₂e (bateria EUA). Brasil E30: uso exclusivo de gasolina (30% etanol anidro). Brasil E100: 100% etanol. Teor de etanol na gasolina por região: Brasil (30%), EUA (10%), China (2%), Europa (7%). Considera apenas motor de ciclo Otto. Fontes: GREET (Argonne National Laboratory), Joanneum Research (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, EPE, ICCT (Comparison of the Life-Cycle GHG Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars), Green NCAP (Life Cycle Assessment Methodology and Data), IEA (LCA Methodology e fatores de emissão da matriz energética por região), European Commission, European Environment Agency, PROCONVE, INMETRO, International Cooper Association, ANP, análise BCG.

Uso representa maior parcela das emissões no ciclo de vida dos veículos a combustão; nos elétricos, produção de baterias é relevante nas emissões



Nota: 1. Brasil Média: ~33% etanol hidratado e ~67% gasolina (com 30% etanol anidro). 2. Considera baterias de fontes ocidentais, resultando em emissões de 68 gCO₂e/km (bateria Europa) a 73 gCO₂e/km (bateria EUA). Brasil E30: uso exclusivo de gasolina (30% etanol anidro). Brasil E100: 100% etanol. Teor de etanol na gasolina por região: Brasil (30%), EUA (10%), China (2%), Europa (7%). Considera apenas motor de ciclo Otto. Fontes: GREET (Argonne National Laboratory), Joanneum Research (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, EPE, ICCT (Comparison of the Life-Cycle GHG Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars), Green NCAP (Life Cycle Assessment Methodology and Data), IEA (LCA Methodology e fatores de emissão da matriz energética por região), European Commission, European Environment Agency, PROCONVE, INMETRO, Internation Cooper Association, ANP, análise BCG.

Veículos Leves | Principais Comentários



Brasil tem vantagem competitiva em baixo carbono no setor automotivo, mesmo com reduzida participação de elétricos

Veículos leves no Brasil apresentam pegada menor que em demais mercados devido principalmente ao etanol e à matriz elétrica renovável



Atualmente, o etanol é uma solução com emissões no ciclo de vida próximas ao elétrico no Brasil

Ao considerar toda a cadeia na metodologia "berço ao túmulo", emissões de veículos a etanol no Brasil são semelhantes às de BEVs, reforçando o papel do biocombustível na descarbonização



Veículos elétricos tem baixa emissão no ciclo de vida, mas importante destacar a influência da produção das baterias

Quando a bateria vem de geografias com matriz elétrica fóssil e tecnologia mais emissiva, como atualmente ocorre na China, a pegada dos elétricos aumenta



Com menor emissão no uso e na operação, descarbonização do Escopo 3 upstream ganha relevância

Brasil já apresenta desempenho favorável nos Escopos 1, 2 e 3 downstream; oportunidades de redução adicional de emissões estão na descarbonização da cadeia de suprimentos (Escopo 3 upstream)

Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida



Veículos Leves



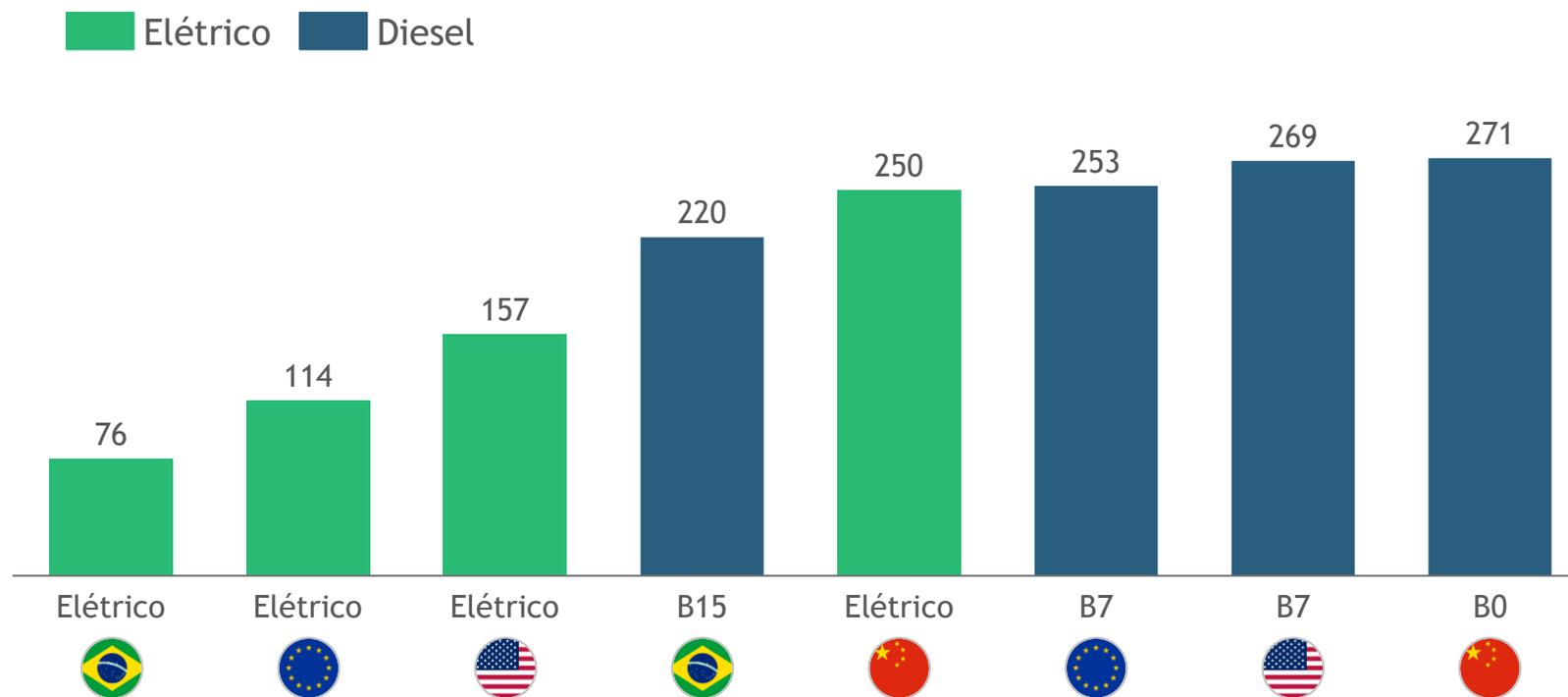
Veículos Pesados



Caminhão Urbano | Matriz elétrica renovável permite menor emissão nos veículos pesados produzidos e utilizados no Brasil



Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)



- Matriz elétrica limpa é diferencial do Brasil, reduzindo fortemente as emissões dos elétricos
- Elétricos têm as menores emissões em todos os países analisados
- Quanto maior a proporção de biocombustível no diesel, menor a pegada de carbono (destaque para o B15 no Brasil); porém escala requer garantia de abastecimento e atendimento às especificações de qualidade

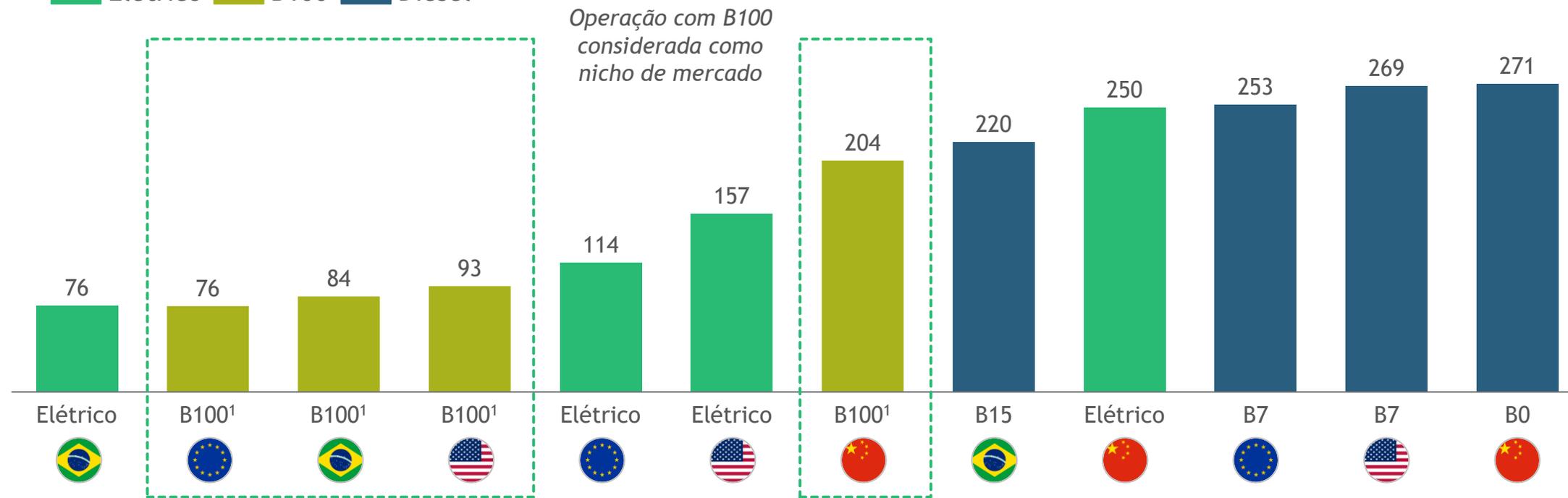
Nota: 1. Operação com B100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Caminhão Urbano | B100 reduz emissões vs. diesel, porém a aplicação ainda é nichada no mercado



Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

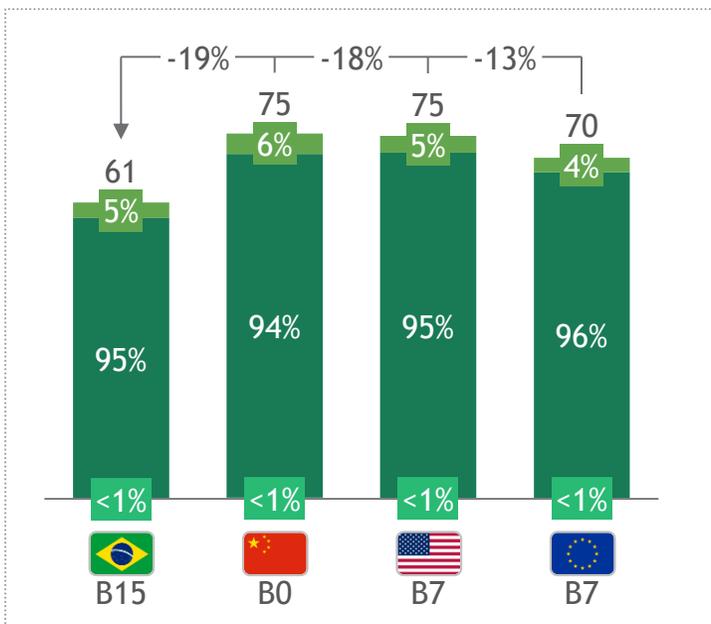
Elétrico B100¹ Diesel



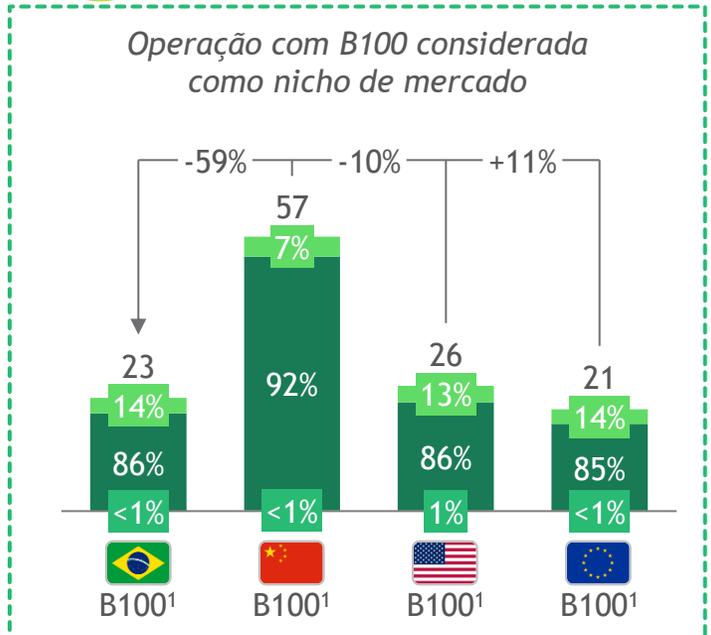
Nota: 1. Operação com B100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Caminhão Urbano | Em B100, as emissões são majoritariamente de uso e a China tem gCO₂e/ton.km superior ao Brasil por mais de 2x

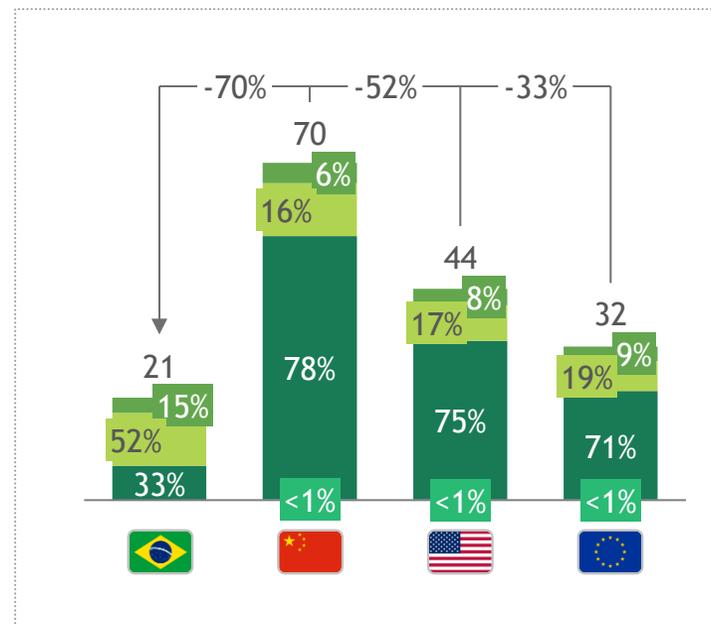
Diesel (gCO₂e/ton.km)



B100¹ (gCO₂e/ton.km)



Elétrico (gCO₂e/ton.km)



■ Produção
 ■ Produção - Bateria
 ■ Uso (Poço à Roda)
 ■ Fim de Vida

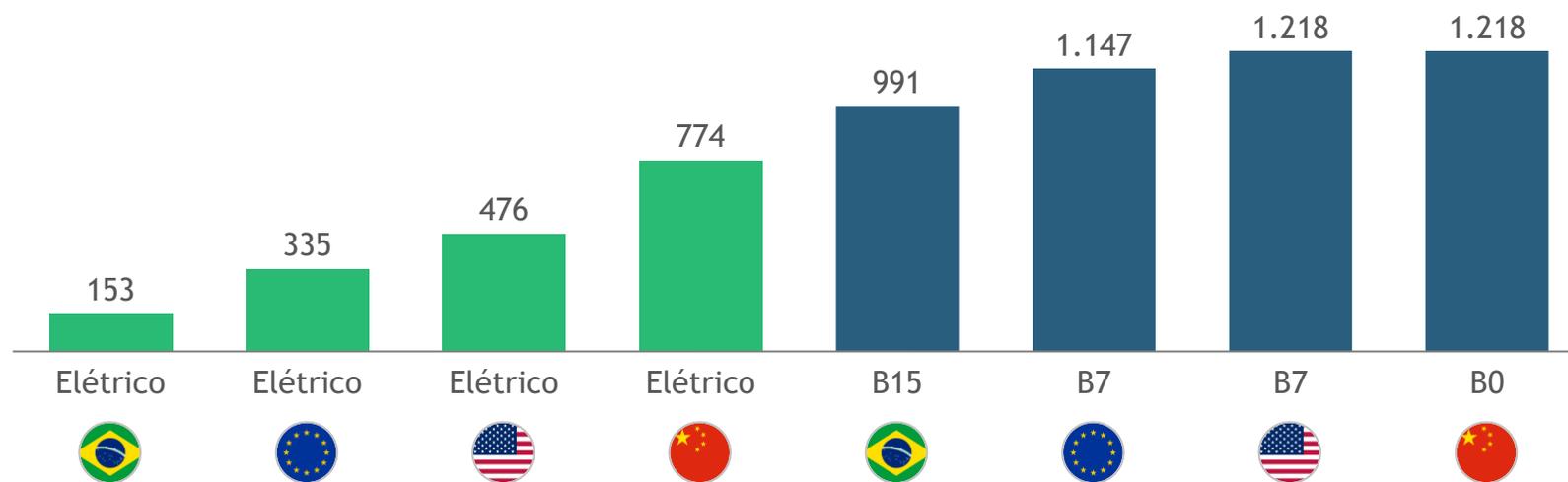
Nota: 1. Operação com B100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Considera peso bruto total de 12ton. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Ônibus Urbano | Elétrico no Brasil com menores emissões, +50% abaixo das demais motorizações e mercados analisados



Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

Elétrico Diesel



- **Uso domina as emissões** no ciclo de vida dos ônibus, especialmente com 700 mil km de vida útil
- **Elétrico no Brasil tem a menor pegada de todas as rotas e mercados analisados** – mais de 50% abaixo das demais opções
- **Mais biodiesel, menos emissão** – o B15 brasileiro é destaque frente aos blends mais baixos de outros países; porém, escala só é viável com segurança de suprimento e especificação técnica garantida

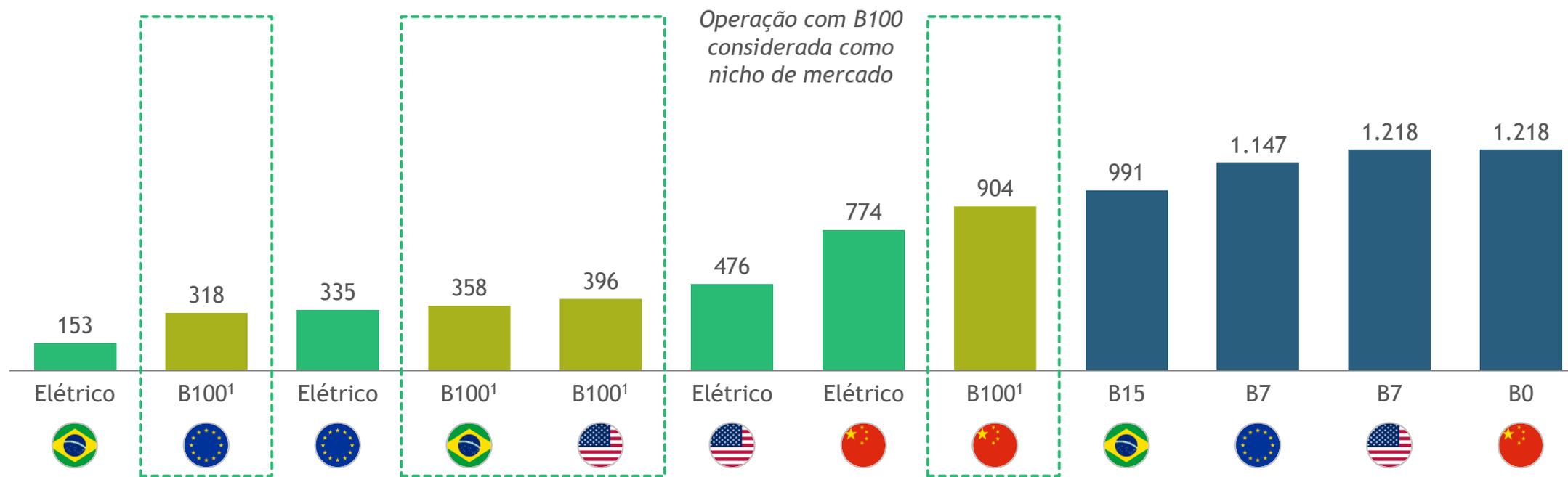
Nota: 1. Operação com B100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Ônibus Urbano | Emissões inferiores com B100 frente ao diesel na maioria dos mercados, porém o uso segue restrito a nichos



Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

Elétrico B100¹ Diesel



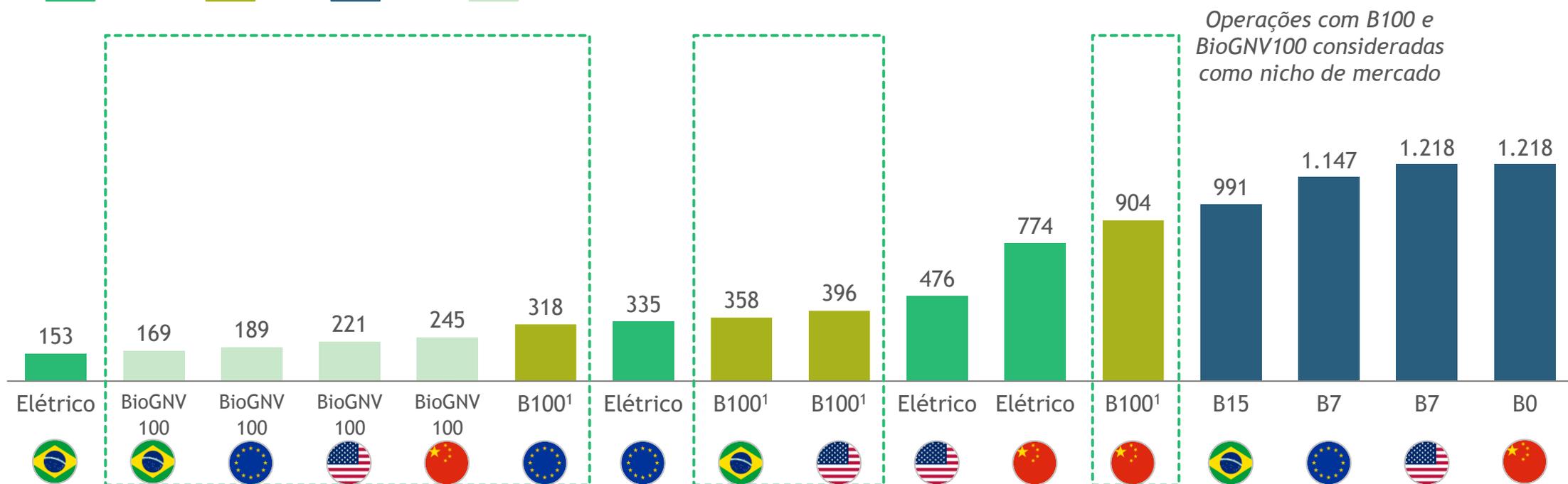
Nota: 1. Operação com B100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Ônibus Urbano | BioGNV100 com emissões similares à do veículo elétrico brasileiro, com redução significativa em relação às demais motorizações



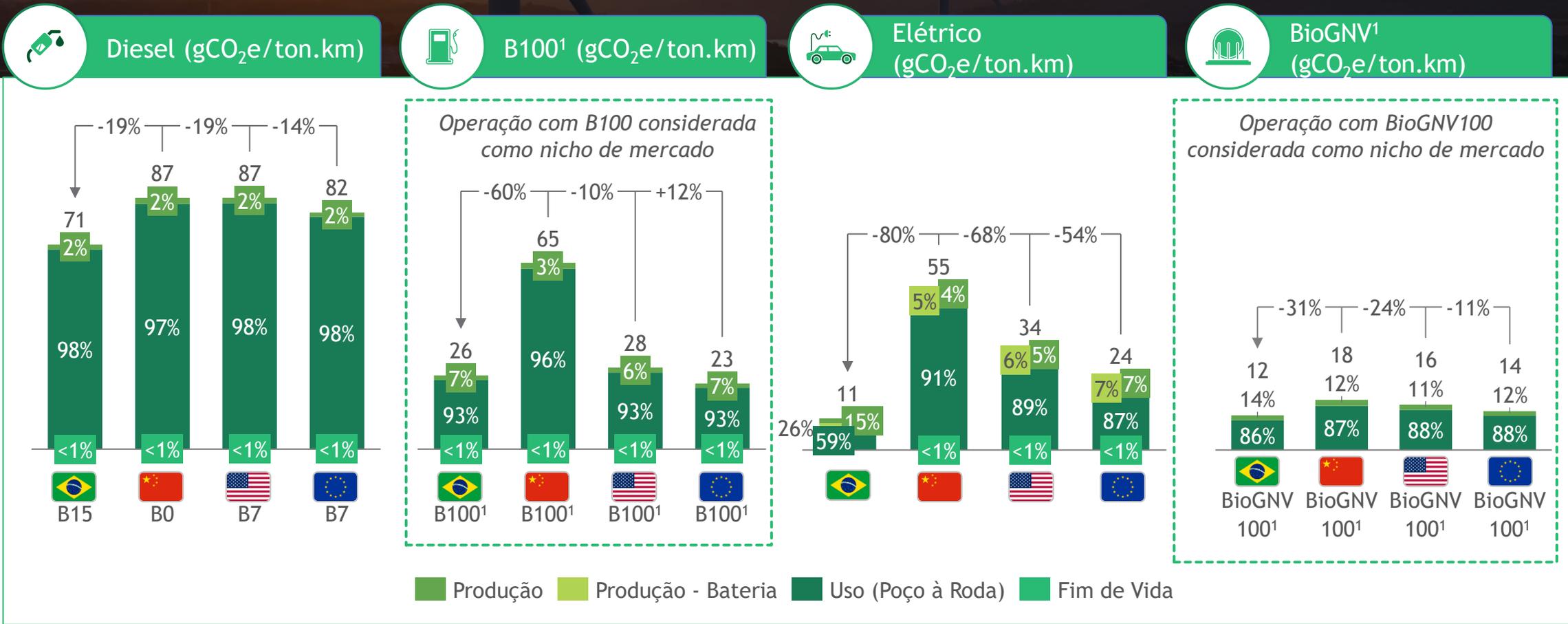
Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

Elétrico B100¹ Diesel BioGNV¹



Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

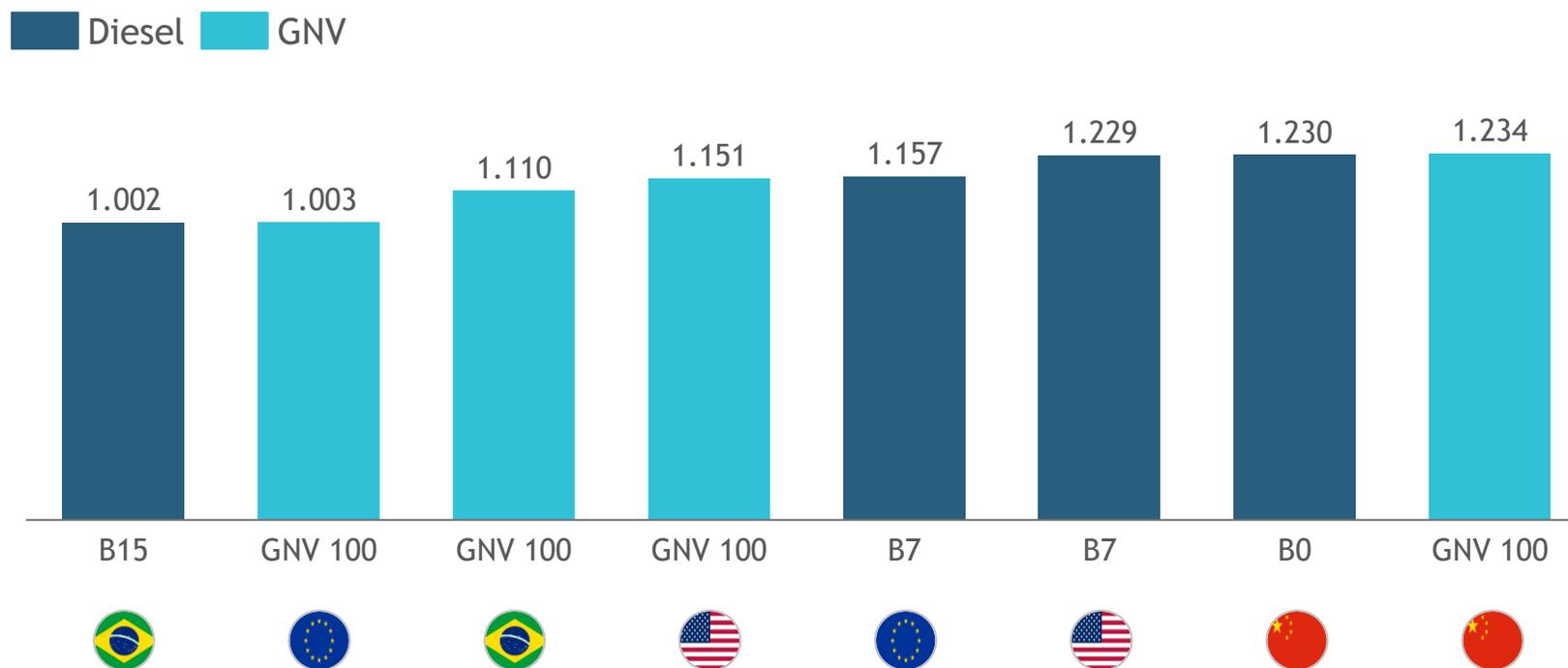
Ônibus Urbano | Em tecnologias a combustão, as emissões são majoritariamente de poço à roda, enquanto nos elétricos a produção ganha relevância



Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. Considera-se biodiesel sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Considera peso bruto total de 20ton. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Caminhão Longa Distância | Emissões nos veículos para transporte de longo curso refletem as longas distâncias—reforçando a necessidade de alternativas limpas

 Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)

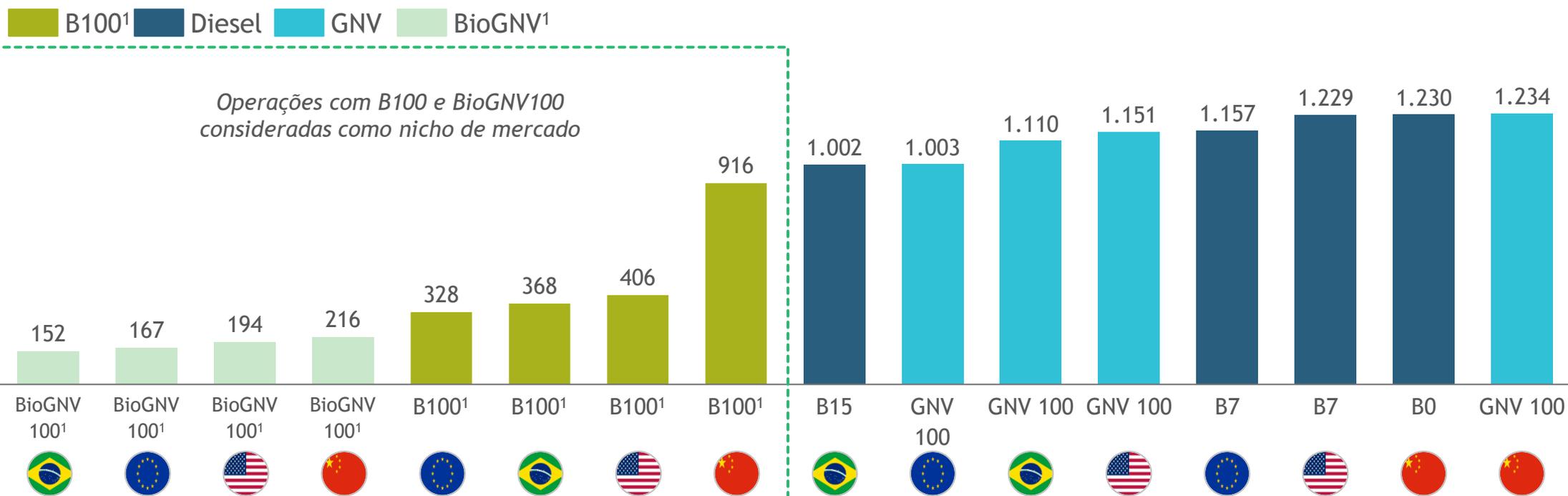


- GNV e diesel têm pegadas muito próximas e altas em todos os países, reforçando a necessidade de alternativas mais limpas para transporte de longa distância

Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV 100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. B100 = 100% biodiesel. BioGNV100 = 100% biometano. GNV100 = 100% gás natural. Considera-se biodiesel e biometano sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Biodiesel - Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica); Biometano - Brasil: 8,35 (EPE); Europa: 9,61 (estimado); EUA: 11,26 (LCFS); China: 12,35 (estimado). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

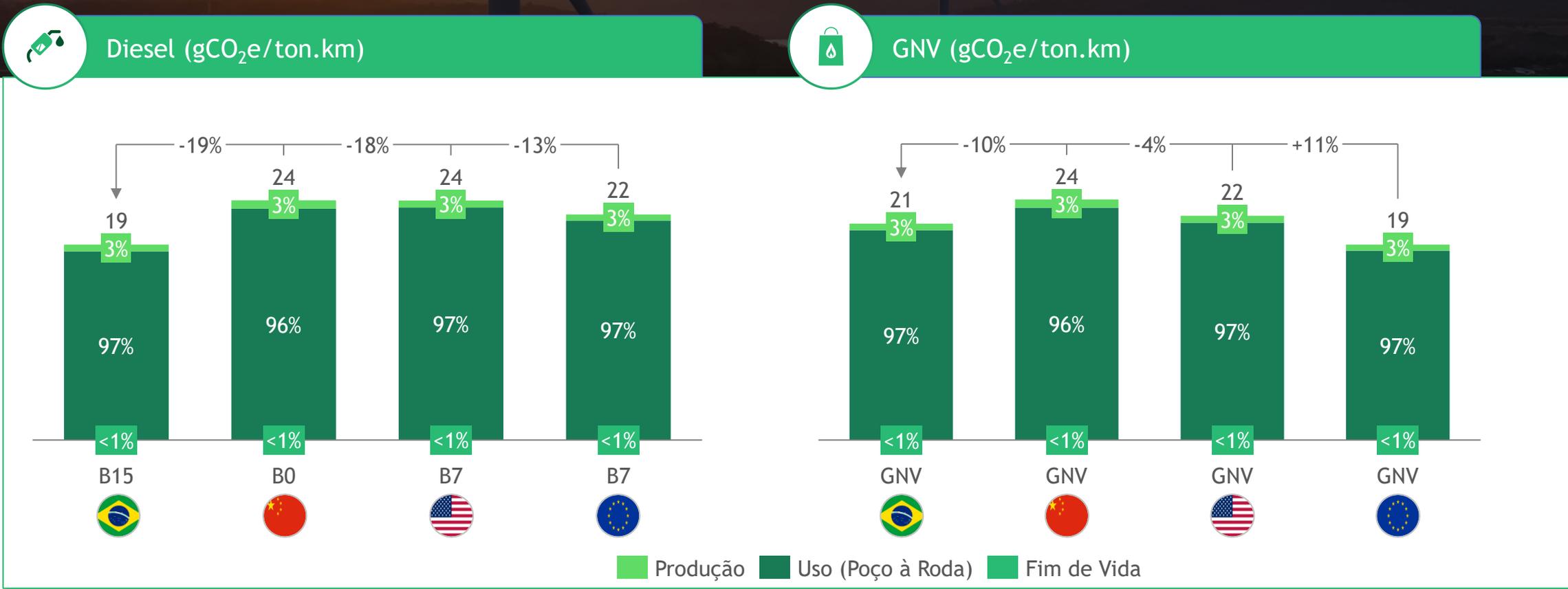
Caminhão Longa Distância | Emissões de veículos com biocombustíveis podem representar 10% das emissões com diesel ou GNV

 Emissões de veículos pesados ao longo da vida por país de produção e uso (ton CO₂e/vida útil)



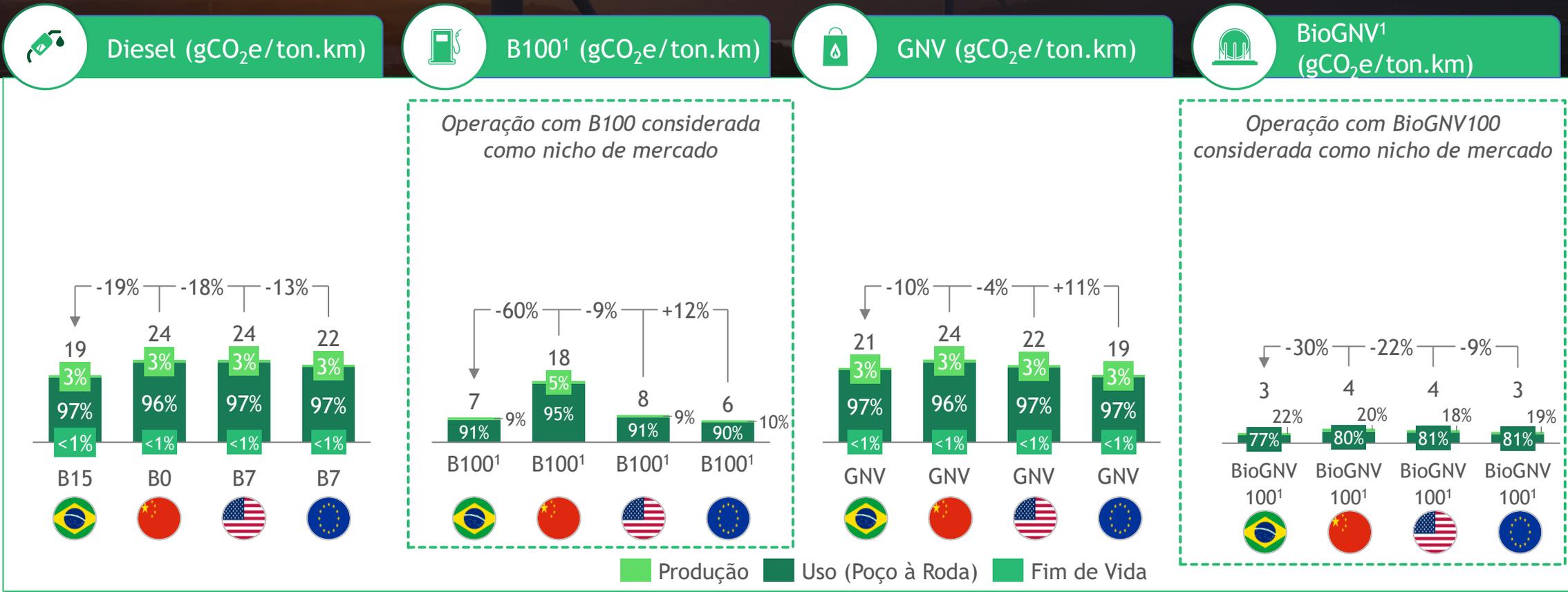
Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV 100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. B100 = 100% biodiesel. BioGNV100 = 100% biometano. GNV100 = 100% gás natural. Considera-se biodiesel e biometano sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Biodiesel - Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica); Biometano - Brasil: 8,35 (EPE); Europa: 9,61 (estimado); EUA: 11,26 (LCFS); China: 12,35 (estimado). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Caminhão Longa Distância | Poço à roda domina as emissões nos veículos a combustão, com menores valores em Diesel no Brasil e GNV na Europa



Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV 100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. B100 = 100% biodiesel. BioGNV100 = 100% biometano. GNV100 = 100% gás natural. Considera-se biodiesel e biometano sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Biodiesel - Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica); Biometano - Brasil: 8,35 (EPE); Europa: 9,61 (estimado); EUA: 11,26 (LCFS); China: 12,35 (estimado). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Considera peso bruto total de 74ton. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, "Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People's Republic of China", European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Caminhão Longa Distância | Uso domina as emissões nos veículos a combustão – redução relacionada diretamente a uso de biocombustível



Nota: 1. Operação com B100 e BioGNV 100: nicho de mercado. B15 = mistura com 15% de biodiesel, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro; B7 = mandato médio de 7% na Europa e nos EUA. B100 = 100% biodiesel. BioGNV100 = 100% biometano. GNV100 = 100% gás natural. Considera-se biodiesel e biometano sem ILUC, com os seguintes fatores de emissão (gCO₂e/MJ): Biodiesel - Brasil: 28,4 (EPE); Europa: 25,1 (EEA); EUA: 31,4 (LCFS); China: 74,7 (literatura acadêmica); Biometano - Brasil: 8,35 (EPE); Europa: 9,61 (estimado); EUA: 11,26 (LCFS); China: 12,35 (estimado). Diesel considerado é 100% fóssil, sem coprocessamento. Considera peso bruto total de 74ton. Fontes: PROCONVE, CONAMA, GREET (Argonne National Laboratory), ICCT, IEA, EPE, JOANNEUM RESEARCH (2022), Steel Benchmarking Report, Aluminum Benchmarking Report, ABAL, Green NCAP, International Copper Association, Combustível do Futuro, LCFS, “Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in the People’s Republic of China”, European Environment Agency, China Products Carbon Footprint Factors Database, análise BCG.

Veículos Pesados | Principais Comentários



Uso representa a maior parte das emissões nos veículos pesados

Maior parte das emissões vem do uso, o que reforça a importância de reduzir a intensidade de carbono dos combustíveis adotados



Em veículos de longa distância, eletrificação ainda possui limitações tecnológicas

Eletrificação apresenta dificuldades para atingir autonomia e infraestrutura de recarga requeridas; biocombustíveis com baixa pegada de carbono são atualmente melhores alternativas ao diesel fóssil



Em caminhões e ônibus utilizados em menores distâncias, eletrificação também permite redução significativa de emissões

Países com matriz elétrica majoritariamente renovável, como o Brasil, mostram bons resultados com elétricos – apesar do uso ainda ser incipiente



Combinação de rotas renováveis permite maior impacto na redução de emissões

Diferentes soluções (biocombustíveis e eletrificação) se complementam conforme o tipo de aplicação e o contexto energético de cada região



Conteúdo |

Caminhos da Descarbonização do Setor Automotivo no Brasil: visão expandida do ciclo de vida completo dos veículos



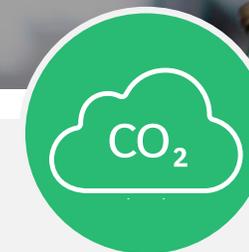
Contexto geral e perspectivas para o setor automotivo



Metodologia "ciclo de vida" para mensuração das emissões associadas à cadeia automotiva



Resultados da análise comparativa da cadeia brasileira em relação a demais regiões



Construção de cenários com potenciais impactos nas emissões de veículos no Brasil

Comparamos as emissões berço ao túmulo do Brasil com demais regiões em diferentes veículos

Veículos Leves



Veículos Pesados



Agora analisaremos como variáveis podem contribuir para os caminhos de descarbonização do Brasil



Mapeamos a **pegada de carbono** dos veículos leves e pesados no Brasil, cobrindo todas as etapas do ciclo de vida e comparando diferentes tecnologias e segmentos com EUA, Europa e China



O Brasil se destaca hoje – especialmente pelo uso de biocombustíveis e matriz elétrica limpa



Fotografia mensurada é estática, ancorada no ecossistema de 2024 e não capta integralmente **movimentos já em curso**: compromissos climáticos, decisões tecnológicas da indústria e mudanças regulatórias



Nesse contexto, na sequência exploramos **cenários ao longo do ciclo de vida dos veículos**, simulando potenciais trajetórias futuras, e testando como mudanças nesses vetores críticos podem redesenhar a pegada do Brasil

Construimos múltiplos cenários com impactos potenciais nas emissões que permitam ao Brasil avançar nos caminhos da descarbonização automotiva



Produção

Produção Verde: Qual o impacto na redução das emissões se a **produção de aço e alumínio seguisse rotas mais limpas**, com redução de 15%, conforme metas do Plano Clima Industrial?



Baterias Limpas: Qual o impacto nas emissões se as **baterias usadas no Brasil fossem produzidas com tecnologias até 44% mais limpas**, conforme estudo do Green NCAP?



Eficiência Elétricos: Qual o impacto na pegada se a **eficiência energética do veículo melhorar em 20%** (com redução proporcional na capacidade da bateria), conforme projeções do ICCT?



Upstream (Escopo 3)



Montagem

Matriz Elétrica: Qual o impacto se o Brasil **atingir seus compromissos anunciados para a matriz elétrica**, conforme cenários da IEA¹? E os outros países?

Escopos 1 e 2



Uso

Eficiência de Motores: Qual o impacto na redução das emissões com a **melhoria de 12% na eficiência energética**, conforme metas do programa Mover?



Biocombustíveis: Qual o impacto da **ampliação e melhoria de eficiência dos biocombustíveis no Brasil**, conforme diretrizes do programa Combustível do Futuro e do estudo 2024 Anfavea & BCG?



Downstream (Escopo 3)



Fim de Vida

Reciclagem de Baterias: Qual o impacto adicional na redução de emissões com a **reciclagem de até 15% das baterias**, conforme projeções da Transport & Environment?



Reciclagem de Materiais: Qual o impacto com o **aumento do conteúdo reciclado de 2% para 50%**, conforme metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos?



Downstream (Escopo 3)



Veículos Leves



Veículos Pesados

Cenários para Avançar Descarbonização Automotiva

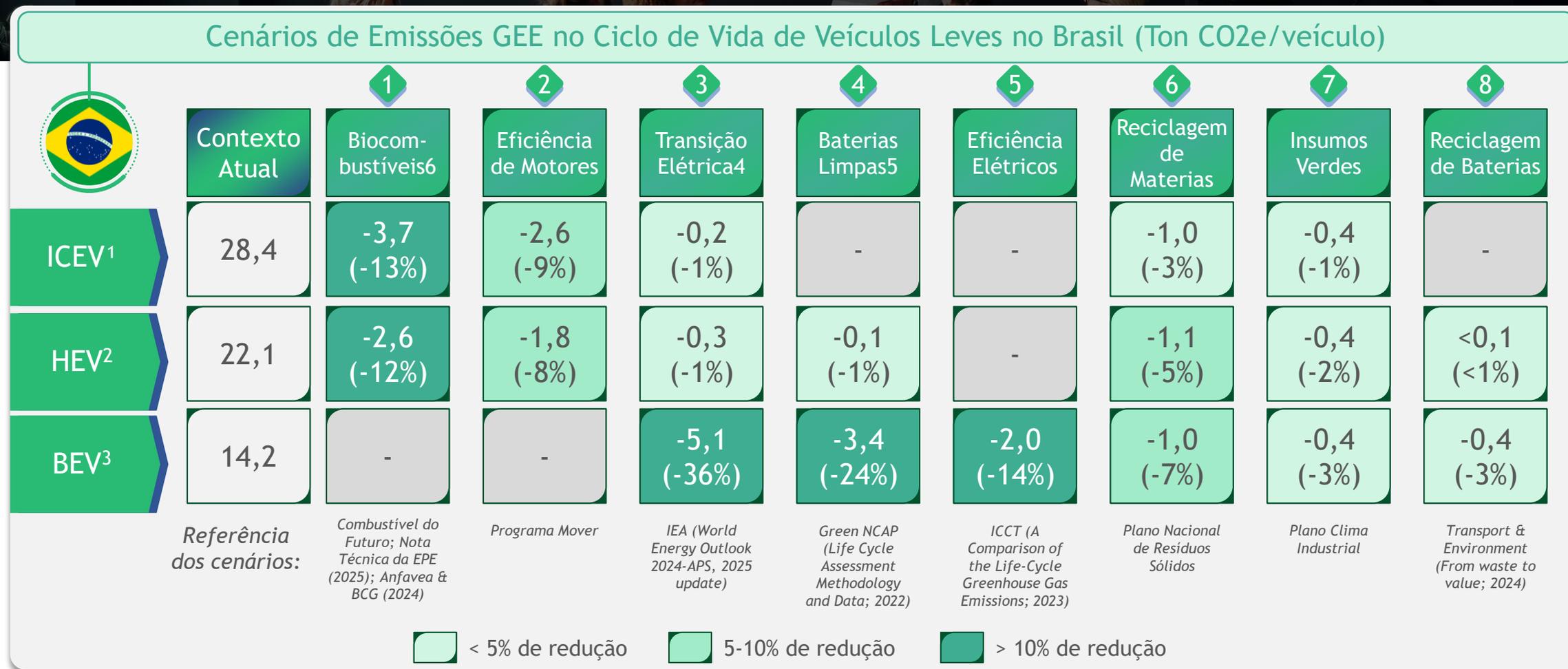


Veículos Leves



Veículos Pesados

Combinação de potenciais caminhos para a descarbonização podem reduzir as emissões do ciclo de vida no Brasil em ~25% para ICEV/HEV e ~60% para BEVs



1. Considera ICEV Média Brasil de carros flex; 2. Considera HEV Média Brasil de carros flex; 3. Considera-se bateria proveniente da China, com fator de emissão de produção de 131 kgCO₂e/kWh; 4. Inclui redução das emissões de baterias sourced da China com base nos announced pledges de transição de matriz elétrica Chinesa até 2035; 5. Considera ganho incremental versus novo baseline chinês. 6. Inclui redução das emissões com redução de intensidade de carbono do etanol, segundo projeções da EPE. Considera apenas motor de ciclo Otto. Para veículos leves, emissões ao longo da vida útil de 160mil km (PROCONVE).

Fonte: Plano Clima Industrial, Programa Mover, Combustível do Futuro, Plano Nacional de Resíduos Sólidos, EPE, IEA, Green NCAP, ICCT, Transport & Environment, Anfavea, análise BCG.

Cenários para Avançar Descarbonização Automotiva



Veículos Leves



Veículos Pesados



Combinação de potenciais caminhos para a descarbonização podem reduzir as emissões do ciclo de vida de pesados em ~10% para ICEV e ~70% para BEVs

Cenários de Emissões GEE no Ciclo de Vida de Veículos Pesados no Brasil (Ton CO2e/veículo)

	Contexto Atual	1 Biocombustíveis ³	3 Transição Elétrica ¹	4 Baterias Limpas ²	5 Eficiência Elétricos	6 Reciclagem de Materias	7 Insumos Verdes	8 Reciclagem de Baterias
								
Caminhão Urbano Diesel	220	-23 (-10%)	-	-	-	-3 (-2%)	-1 (-1%)	-
Caminhão Urbano BEV	76	-	-36 (-47%)	-17 (-22%)	-13 (-17%)	-3 (-5%)	-1 (-2%)	-2 (-3%)
Caminhão HDV Diesel	1.002	-106 (-11%)	-	-	-	-10 (-1%)	-4 (<1%)	-
Caminhão HDV GNV	1.110	-96 (-9%)	-	-	-	-10 (-1%)	-4 (<1%)	-
Ônibus Urbano Diesel	991	-106 (-11%)	-	-	-	-6 (-1%)	-2 (<1%)	-
Ônibus Urbano Elétrico	153	-	-92 (-60%)	-17 (-11%)	-26 (-17%)	-6 (-4%)	-2 (-2%)	-2 (-1%)
<i>Referência dos cenários:</i>		<i>Combustível do Futuro; Nota Técnica da EPE (2025); Anfavea & BCG (2024)</i>	<i>IEA (World Energy Outlook 2024-APS, 2025 update)</i>	<i>Green NCAP (Life Cycle Assessment Methodology and Data; 2022)</i>	<i>ICCT (A Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions; 2023)</i>	<i>Plano Nacional de Resíduos Sólidos</i>	<i>Plano Clima Industrial</i>	<i>Transport & Environment (From waste to value; 2024)</i>
		 < 5% de redução	 5-10% de redução	 > 10% de redução				

Nota: Para caminhões urbanos, emissões ao longo da vida útil de 300mil km; para ônibus urbanos e caminhões de longa distância, 700mil km (PROCONVE). 1- Inclui redução das emissões de baterias importadas da China com base nos announced pledges de transição de matriz elétrica Chinesa até 2035; 2. Considera ganho incremental versus novo baseline chinês; 3. Inclui redução das emissões com redução de intensidade de carbono do biodiesel, segundo projeções da EPE. Para GNV, considera apenas motor de ciclo Otto. Fonte: Plano Clima Industrial, Programa Mover, Combustível do Futuro, Plano Nacional de Resíduos Sólidos, EPE, IEA, Green NCAP, ICCT, Transport & Environment, Anfavea & BCG, análise BCG.

Principais Mensagens

Brasil parte de uma posição única: matriz elétrica majoritariamente renovável e ampla oferta de biocombustíveis já garantem pegada de carbono inferior à de outros mercados – mesmo com baixa penetração de veículos elétricos

Combinação de esforços será chave para acelerar descarbonização no Brasil: etanol, biodiesel e biometano permitem **reduzir significativamente níveis de emissões da frota circulante** e permitem reduzir pegada de carbono da frota existente em um prazo mais curto

- **Veículos leves:** elétricos tendem a ser a rota de menor emissão no Brasil com fontes e baterias mais limpas; no curto prazo, diferentes níveis de eletrificação e uso do etanol oferecem pegada comparável e podem ser utilizados como soluções complementares
- **Veículos pesados:** no curto-médio prazo, eletrificação será mais viável em rotas urbanas, enquanto os biocombustíveis seguem como opção essencial e escalável para longas distâncias

Descarbonização exige esforços conjuntos de toda a cadeia de produção, uso e suprimentos (Escopo 1, 2 e 3): incluindo contribuição de setores com alta intensidade de emissões, investimentos na evolução tecnológica, qualidade e disponibilidade de biocombustíveis, infraestrutura de recarga e reciclagem

Disclaimer

Este estudo reflete a visão do BCG baseada tanto em sua experiência global no tema, quanto de sua vivência no setor Automotivo no Brasil, além de entrevistas realizadas durante a elaboração deste estudo. Nomeadamente, o estudo reflete elementos de discussão com a ANFAVEA (Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores) e seus Associados e parceiros no Brasil. Ainda, este estudo decorre da contratação para a redação de um relatório em que o BCG foi remunerado pela ANFAVEA.

Este estudo foi preparado pelo BCG com base nas informações disponíveis na data de sua publicação. O BCG não garante nem faz nenhuma declaração com relação à exatidão, confiabilidade, completude ou atualidade das informações, bem como sua utilidade para qualquer propósito. O leitor é responsável por verificar a relevância e exatidão do conteúdo deste estudo. Na máxima medida permitida pela legislação aplicável, o BCG não é responsável por quaisquer perdas e danos decorrentes de ou relacionadas ao uso do estudo por qualquer pessoa e o leitor renuncia a qualquer direito ou reclamação que possa ter contra o BCG relacionados à apresentação, a qualquer tempo. O acesso a e leitura do estudo implica na concordância do leitor com o anteriormente estabelecido.

O BCG não se compromete a atualizar o documento após a data de sua publicação, ainda que as informações possam se tornar desatualizadas ou imprecisas. Ainda, quaisquer avaliações, informações de mercado projetadas e conclusões contidas neste documento são baseadas em metodologias de avaliação padrão, não são previsões definitivas e não são garantidas pelo BCG. O BCG usou dados de várias fontes e premissas fornecidas ao BCG de outras fontes. O BCG não verificou de forma independente os dados e premissas dessas fontes. Mudanças nos dados ou premissas terão um impacto nas análises e conclusões.

Este estudo não pretende fazer ou influenciar nenhuma recomendação e não deve ser interpretado como tal por qualquer pessoa, física ou jurídica.

Nenhuma parte da apresentação pode ser reproduzida de qualquer forma, sem a prévia autorização do BCG.



bcg.com

