ESTUDO COMPARATIVO DE NORMAS APLICÁVEIS AO CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO NO ESCOPO DO PROGRAMA MOVER

Alfeo João Nadolny Neto[1], Douglas Gabriel da Silva Ribeiro[2], Erick Holovati Silva[3], Gabriel Henrique Laurindo da Silva[4], Thiago Luis Bankhardt[5] e Jonas Eduardo Rocha[6]

RESUMO

Este estudo analisou comparativamente as principais normas e metodologias internacionais aplicáveis à quantificação da pegada de carbono, avaliando sua aderência aos requisitos da Portaria MOVER (2023). O programa, que torna obrigatórios a partir de 2027 os inventários corporativos de GEE e o cálculo da pegada de carbono de veículos novos, não define uma metodologia oficial, o que demanda a análise de referenciais existentes. A fundamentação teórica abordou conceitos como pegada de carbono, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e inventários de emissões, além das normas ISO 14040/14044, ISO 14067 e do GHG Protocol. A pesquisa utilizou abordagem qualitativa e documental, estruturando uma matriz comparativa entre os requisitos da MOVER e as metodologias avaliadas. Os resultados indicam que, embora as normas ISO forneçam base técnica para estudos *cradle-to-grave* e o GHG Protocol apresente robustez para inventários corporativos, nenhuma metodologia, isoladamente, atende integralmente às exigências regulatórias. Lacunas persistem, principalmente quanto à intensidade de carbono da fonte de energia (ICE) e aos critérios de reciclabilidade. Conclui-se que o atendimento pleno à MOVER depende da integração entre ACV (ISO 14040/14044), quantificação da pegada (ISO 14067) e inventários organizacionais (GHG Protocol), complementada por diretrizes nacionais que supram as lacunas identificadas.

Palavras-chave: Pegada de carbono; ACV; GHG Protocol; Normas ISO; MOVER.

COMPARATIVE STUDY OF STANDARDS APPLICABLE TO CARBON FOOTPRINT CALCULATION UNDER THE MOVER PROGRAM

ABSTRACT

This study conducted a comparative analysis of the main international standards and methodologies applicable to carbon footprint quantification, assessing their alignment with the requirements established by the Brazilian MOVER Program (2023). The

[1] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Alfeo.neto00924693@sesisenaipr.org.br
[2] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Douglas.ribeiro00437612@sesisenaipr.org.br
[3] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Erick.silva00635476@sesisenaipr.org.br
[4] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Gabriel.silva0099861@sesisenaipr.org.br
[5] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Thiago.nogoceke00600225@sesisenaipr.org.br
[6] Centro Universitário SENAI Paraná - UniSENAI/PR. Jonas.rocha@sistemafiep.org.br (Autor correspondente)

regulation, which becomes fully effective in 2027, mandates corporate greenhouse gas (GHG) inventories and the calculation of the full life-cycle carbon footprint of new vehicles produced or imported in Brazil, yet it does not specify an official methodology. The theoretical framework addressed essential concepts such as carbon footprint, Life Cycle Assessment (LCA), and GHG inventories, as well as an analysis of ISO 14040/14044, ISO 14067, and the GHG Protocol. The research employed a qualitative and documentary approach, using a comparative matrix to relate MOVER's requirements to the guidance provided by the evaluated methodologies. The analysis showed that, although the ISO standards offer the technical basis necessary for cradle-to-grave assessments and the GHG Protocol provides a robust structure for corporate inventories, none of the methodologies, on their own, fully meet MOVER's requirements. Significant gaps were identified, especially regarding the carbon intensity of energy sources (ICE) and recyclability criteria, which are not explicitly addressed by international standards. The findings indicate that regulatory compliance requires methodological integration combining LCA principles (ISO 14040/14044), product-level carbon footprint quantification (ISO 14067), and organizational GHG inventories (GHG Protocol), complemented by national guidelines to address the identified gaps. This study contributes to the development of consistent methodological structures to support the implementation of low-carbon mobility in Brazil.

Key words: Carbon footprint; Life Cycle Assessment (LCA); GHG Protocol; ISO standards; MOVER Program.

1 INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural fundamental para a manutenção do equilíbrio térmico da Terra, sendo responsável por conservar temperaturas adequadas ao desenvolvimento da vida. Conforme descrito por Novais (2025), a energia proveniente do Sol chega à superfície terrestre principalmente sob a forma de radiação eletromagnética de ondas curtas. Parte dessa energia é absorvida e posteriormente reemitida para o espaço na forma de radiação infravermelha. Entretanto, a presença de gases como vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos nitrosos dificulta a dissipação completa desse calor, retendo parte da radiação e contribuindo para a regulação térmica do planeta.

Estima-se que, sem esse processo, a temperatura média da superfície terrestre seria aproximadamente 30 °C inferior à atual, o que inviabilizaria a maior parte das formas de vida. Além dos gases naturalmente presentes na atmosfera, compostos sintéticos como CFCs, HFCs, PFCs e o hexafluoreto de enxofre (SF_6) também

contribuem significativamente para o aquecimento global devido ao seu elevado potencial de aquecimento e à alta persistência atmosférica (SCABIN, 2025).

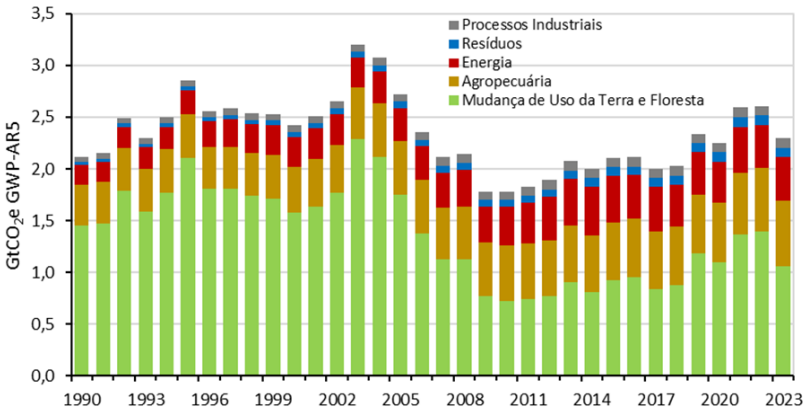
Figura 1 – Diagrama explicando o efeito estufa



Fonte: NOVAIS (2025).

No Brasil, as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) atingiram cerca de 2,3 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente em 2023, segundo dados do SEEG. Entre os setores emissores, destacam-se agropecuária, uso da terra, processos industriais, resíduos e energia. Este último, no qual se insere o transporte, foi responsável por aproximadamente 22% das emissões nacionais. As emissões por setor são apresentadas na Figura 2.

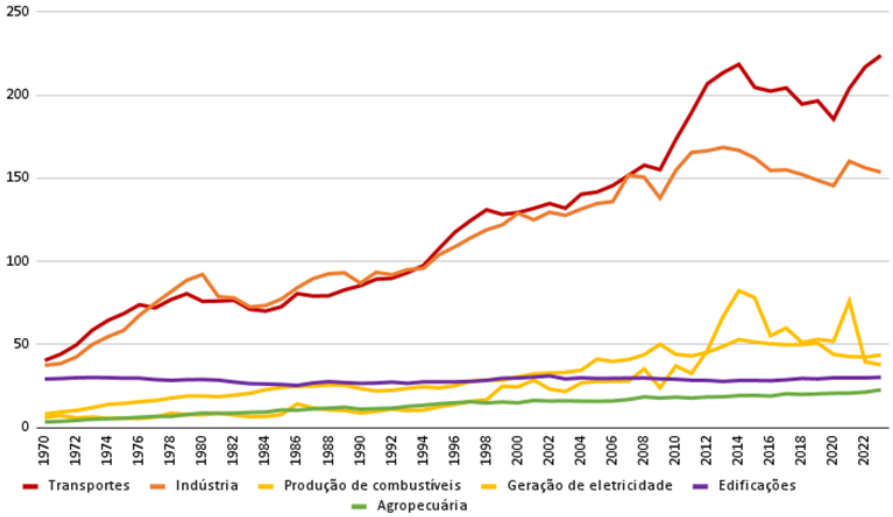
Figura 2 – Emissões bruta por setores



Fonte: IEMA/SEEG (2024).

Apesar de uma tendência geral de redução das emissões no país, o setor de transportes registrou crescimento de 3,2% em 2023, alcançando cerca de 224 milhões de toneladas de CO_2e, o maior valor da série histórica. A Figura 3 ilustra essa evolução, destacando a relevância desse segmento para as estratégias de mitigação climática nacionais.

Figura 3 – Emissões no setor de transporte

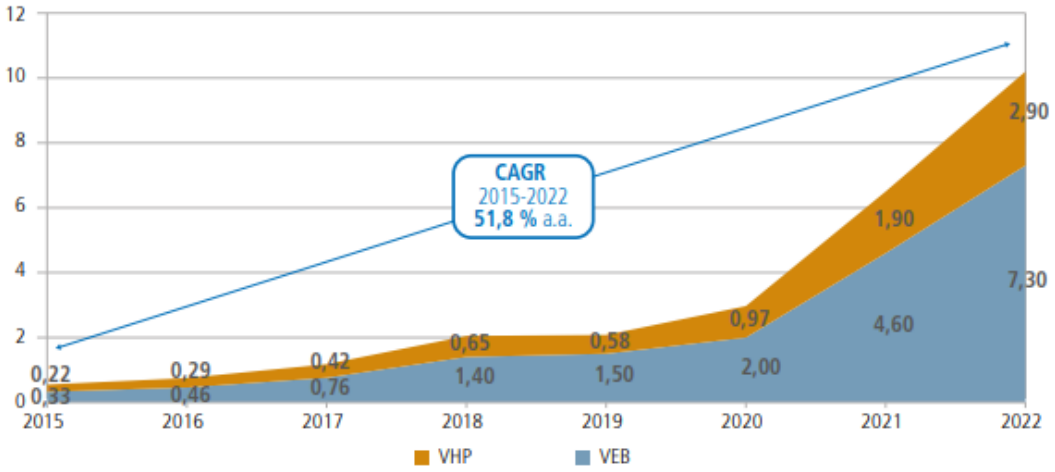


Fonte: IEMA/SEEG (2024).

No contexto internacional, o setor de transportes representa cerca de 25% das emissões globais de GEE, com predominância dos modais rodoviário e aéreo (AGÊNCIA BRASIL, 2018). Esse cenário tem impulsionado políticas de descarbonização em diversos países, com foco em tecnologias de menor impacto, como veículos elétricos, híbridos, biocombustíveis avançados e soluções de mobilidade inteligente.

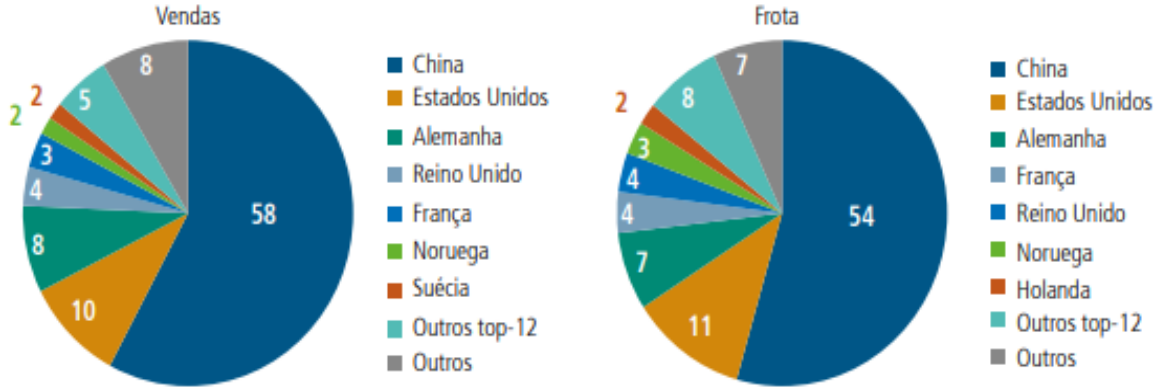
Segundo relatório do BNDES, a mobilidade de baixas emissões constitui uma das principais frentes de mitigação no mundo, especialmente em razão do crescimento acelerado dos veículos eletrificados. Esse avanço é evidenciado pela Figura 4. Além disso, observa-se forte concentração geográfica desse mercado, com China, Europa e Estados Unidos liderando tanto as vendas quanto a composição da frota circulante, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 4 – Evolução das vendas globais de veículos leves eletrificados plug-in (milhões de unidades)



Fonte: BNDES (2023).

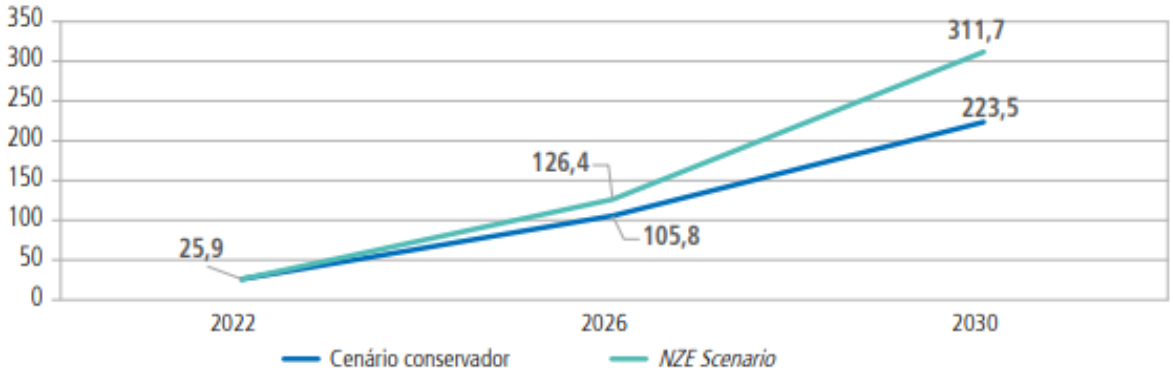
Figura 5 – Participação nas vendas e na frota de veículos leves plug-in em 2022 (%)



Fonte: BNDES (2023).

As projeções da IEA reforçam essa tendência: estima-se que a frota global de veículos plug-in pode atingir entre 223 e 300 milhões de unidades até 2050, conforme a Figura 6. Tais tendências consolidam a eletrificação como um dos principais vetores da descarbonização automotiva em escala global.

Figura 6 – Projeção da evolução da frota global de veículos leves eletrificados plug-in (milhões de unidades)



Fonte: BNDES (2023).

No Brasil, a transição para uma mobilidade de baixo carbono apresenta especificidades decorrentes da elevada participação de fontes renováveis na matriz energética nacional, cerca de 48% da oferta total (BNDES, 2025). Essa particularidade possibilita múltiplas rotas tecnológicas de descarbonização, incluindo motores híbridos flex, etanol de primeira e segunda geração, biometano para veículos pesados e eletrificação parcial ou total. As diferentes plataformas tecnológicas consideradas no país são apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Plataformas para eletrificação veicular

PLATAFORMA VEICULAR	DESCRIÇÃO
Veículos elétricos a bateria (VEB)	A tração motriz é completamente provida por um ou mais motores elétricos, que, por sua vez, obtêm a energia de baterias recarregáveis. A carga das baterias provém de uma fonte externa (*plug-in*). As baterias recarregáveis (cuja tecnologia dominante é hoje a de íons de lítio) são um componente crítico no conjunto, respondendo por uma parcela relevante (até 50%) do custo do veículo.
Veículos híbridos (VH) e veículos híbridos *plug-in* (VHP)	Combinam um motor a combustão interna com um motor elétrico para o fornecimento de tração motriz, seja em conjunto, seja separadamente. O motor elétrico é alimentado por uma bateria que pode ser carregada por meio de fonte externa ou da regeneração da energia dissipada em desacelerações e frenagens. No caso de a bateria ser carregada com ajuda de fonte externa, o veículo é denominado "híbrido *plug-in*" (VHP).
Veículos a célula de combustível (VCC)	As células de combustível são dispositivos eletroquímicos que produzem uma reação de eletrólise reversa da água. Nessa reação, o hidrogênio armazenado no veículo combina-se com o oxigênio atmosférico, gerando uma corrente que alimenta um motor elétrico de tração. Utiliza-se também uma bateria recarregável, de menor porte, para estabilizar a corrente gerada pela célula.

Fonte: BNDES (2024).

Em paralelo às transformações tecnológicas globais, cresce a adoção de regulamentações que exigem o reporte da pegada de carbono de veículos novos ao longo de todo o ciclo de vida. Exemplos incluem os novos padrões de emissões estabelecidos pela EPA nos Estados Unidos, as metas de emissão líquida zero para automóveis novos na União Europeia a partir de 2035 e os requisitos de certificação da pegada de carbono implementados pelo CATARC na China.

No Brasil, esse movimento regulatório foi formalizado com a criação do Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), instituído pela Medida Provisória nº 1.205/2023. O programa determina que, a partir de 2027, veículos novos produzidos ou importados deverão ter sua pegada de carbono quantificada e registrada com abordagem “do berço ao túmulo”. Além disso, exige-se a apresentação simultânea do inventário de carbono das plantas fabris até 31 de dezembro de 2026 e prevê a utilização da pegada como métrica de tributação progressiva. Contudo, apesar de estabelecer o que deve ser medido, a MOVER não define como medir, deixando em aberto a metodologia, as fronteiras de análise e a base de dados adequadas ao cálculo.

Nessa perspectiva, o objetivo deste artigo é analisar a compatibilidade entre os requisitos estabelecidos pela Portaria MOVER e as principais metodologias consolidadas de quantificação da pegada de carbono, com foco no GHG Protocol e nas normas ISO 14040/ISO 14044 e ISO 14067. Busca-se identificar quais aspectos dessas metodologias podem servir como base para a construção de uma metodologia nacional e quais elementos s mostram-se insuficientes ou incompatíveis no contexto da indústria automotiva brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Portaria MOVER – Programa Mobilidade Verde e Inovação

A Medida Provisória nº 1.205, de 30 de dezembro de 2023, instituiu o Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), consolidando um marco regulatório para a transição da indústria automotiva brasileira rumo a modelos de produção e

comercialização mais eficientes e de menor impacto climático. O programa introduz critérios de eficiência energética, estímulos à inovação tecnológica e mecanismos de incentivo fiscal vinculados ao desempenho ambiental dos veículos, com ênfase na redução da intensidade de carbono ao longo da cadeia produtiva.

Entre os principais avanços promovidos pela MOVER está a obrigatoriedade de quantificação e reporte das emissões de gases de efeito estufa, estruturada em duas frentes complementares. Até 31 de dezembro de 2026, fabricantes e importadores de veículos classificados nos códigos 87.01 a 87.05 da TIPI devem apresentar inventários corporativos abrangendo as emissões diretas (escopo 1) e as emissões indiretas decorrentes do consumo de energia (escopo 2) provenientes de suas plantas industriais no território nacional. Essa exigência estabelece as bases para a rastreabilidade das emissões organizacionais e para a integração futura com métricas de desempenho ambiental.

A partir de 1º de janeiro de 2027, o programa passa a exigir a quantificação da pegada de carbono dos veículos comercializados no Brasil, considerando todas as etapas do ciclo de vida — da extração de matérias-primas ao fim de vida (*cradle-to-grave*). Os resultados devem ser expressos em duas unidades funcionais obrigatórias: toneladas de CO_2 equivalente por veículo produzido e gramas de CO_2 equivalente por quilômetro rodado. Além de promover transparência ambiental, essas métricas servirão como base para o sistema de tributação baseado em desempenho (*bonus-malus*), modulando incentivos e penalidades conforme o impacto ambiental dos modelos.

Apesar do detalhamento de metas e prazos, a MOVER não define uma metodologia oficial para o cálculo da pegada de carbono, deixando em aberto parâmetros como fronteiras do sistema, critérios de alocação, bases de dados a serem utilizadas e procedimentos específicos para o tratamento de cenários de uso. Essa ausência torna essencial a análise de metodologias consolidadas, como as normas ISO 14040/14044, ISO 14067 e o GHG Protocol, para identificar quais podem servir como base técnica para a conformidade regulatória (MOVER, 2023).

2.2 Pegada de carbono

A pegada de carbono é um indicador ambiental que quantifica o total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) associado a uma atividade, produto ou organização, expresso em dióxido de carbono equivalente (CO_2e). De acordo com o Instituto de Energia e Ambiente da USP (IEE-USP, 2024), trata-se de uma métrica essencial para mensurar o impacto climático de operações produtivas e subsidiar decisões estratégicas de mitigação.

A pegada de carbono pode ser classificada em três categorias, conforme a origem das emissões:

- Emissões diretas: resultantes de fontes de propriedade ou controle direto da organização, como combustão em caldeiras, processos industriais e frota própria.
- Emissões indiretas associadas ao consumo de energia: provenientes da geração de eletricidade, calor ou vapor adquirido pela organização.
- Outras emissões indiretas: geradas ao longo da cadeia de valor, abrangendo transporte de insumos, processos de fornecedores, uso do produto pelo consumidor e destinação final.

Embora frequentemente utilizados em conjunto, pegada de carbono e inventário de GEE possuem finalidades distintas. O inventário corporativo responde à pergunta “quanto a organização emitiu em determinado período”, enquanto a pegada de produto busca responder “quanto um produto emite por unidade funcional ao longo de seu ciclo de vida”. Essa distinção é central no contexto da MOVER, que exige ambos os instrumentos: inventários corporativos (escopos 1 e 2) e pegada de carbono veicular (GHG PROTOCOL, 2011).

Para possibilitar a comparação entre diferentes gases, utiliza-se o dióxido de carbono equivalente (CO_2e), calculado por meio dos fatores de caracterização do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Gases como CH_4, N_2O e HFCs são convertidos para CO_2e conforme seu Potencial de Aquecimento Global (GWP), permitindo uma avaliação integrada dos impactos climáticos e favorecendo a conformidade com regulamentações como a MOVER (IPCC, 2023).

2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia padronizada internacionalmente para mensurar impactos ambientais associados a produtos, processos ou serviços ao longo de todas as etapas de sua existência. Conforme o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 2025), a ACV permite identificar pontos críticos da cadeia produtiva, apoiar decisões de melhoria, comparar tecnologias e subsidiar práticas de ecodesign e economia circular.

A estrutura da ACV é definida pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, que a organizam em quatro etapas fundamentais:

1. Definição de objetivo e escopo – determina a finalidade do estudo, a unidade funcional e as fronteiras do sistema (por exemplo, “1 veículo ao longo de sua vida útil”).
2. Inventário do ciclo de vida (LCI) – quantifica fluxos de materiais, energia, emissões e resíduos associados às etapas do processo produtivo.
3. Avaliação de impactos (LCIA) – transforma os dados do inventário em indicadores ambientais, como o potencial de aquecimento global (GWP).
4. Interpretação – realiza a análise crítica, identifica pontos críticos, trata incertezas e orienta melhorias.

No setor automotivo, as aplicações da ACV são amplas, incluindo: comparação de emissões entre tecnologias de propulsão, seleção de materiais de menor impacto, análise de cadeias de fornecimento e atendimento a regulamentações como a MOVER, que exige avaliações *cradle-to-grave* para veículos a partir de 2027 (IBICT, 2025).

A ACV com abordagem *cradle-to-grave* é particularmente relevante para o cálculo da pegada de carbono, pois impede que emissões sejam subestimadas ao considerar apenas fases isoladas, como o uso do veículo. Essa abordagem é essencial para o atendimento aos requisitos da MOVER, garantindo que a avaliação de impacto climático seja completa e padronizada (IBICT, 2025).

2.3 Normas ISO

2.3.1 ISO 14040 e ISO 14044 – Princípios e estrutura da ACV

As normas ISO 14040 e ISO 14044 constituem o núcleo conceitual e metodológico da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), sendo internacionalmente reconhecidas como o padrão técnico para estudos ambientais baseados em ciclo de vida. A ISO 14040 estabelece os princípios, a estrutura geral e as diretrizes fundamentais da ACV, definindo seus objetivos, limitações e orientações para sua aplicação. Já a ISO 14044 aprofunda esses elementos ao especificar os requisitos técnicos e metodológicos que devem ser seguidos, incluindo regras para definição de escopo, critérios de corte, seleção de categorias de impacto, requisitos de qualidade de dados e procedimentos de interpretação de resultados (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Juntas, essas normas descrevem em detalhe as quatro fases obrigatórias de um estudo de ACV:

(i) definição de objetivo e escopo;

(ii) análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV);

(iii) avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV);

(iv) interpretação dos resultados.

Essa estrutura assegura transparência, consistência e comparabilidade entre estudos distintos, o que é fundamental para aplicações regulatórias e para a tomada de decisão baseada em evidências.

A aderência dessas normas às exigências da Portaria MOVER é direta, especialmente porque fornecem a base técnica necessária para *modelagens cradle-to-grave* e para a definição de unidades funcionais e fronteiras do sistema, elementos explicitamente requeridos no cálculo da pegada de carbono veicular. Dessa forma, a ISO 14040 e a ISO 14044 oferecem o suporte metodológico essencial para a geração dos indicadores tCO_2e/veículo e gCO_2e/km que serão obrigatórios a partir de 2027 (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

2.3.2 ISO 14067 - Pegada de carbono de produto (*Product Carbon Footprint*).

A ISO 14067 estabelece os requisitos e as orientações específicas para a quantificação da pegada de carbono de produtos (CFP – *Carbon Footprint of*

Products), utilizando como base metodológica a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A norma determina que o cálculo inclua todas as emissões e remoções líquidas de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas até o fim de vida, utilizando fatores de caracterização do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). No caso dos veículos, isso abrange emissões associadas às etapas de produção, logística, uso, manutenção e descarte, permitindo que o resultado seja expresso em CO_2 equivalente (ISO, 2018).

Um dos elementos centrais da ISO 14067 é o rigor na definição e no uso de dados primários e secundários. A norma estabelece que dados primários, obtidos diretamente pelo fabricante, devem ser utilizados sempre que o processo estiver sob seu controle operacional, como consumo de energia, processos produtivos, insumos diretos e eficiência de equipamentos. Já os dados secundários, provenientes de bases externas como *ecoinvent,* GREET, GaBi ou publicações científicas, devem ser aplicados às etapas da cadeia de suprimentos fora do controle direto da organização. Essa exigência traz desafios significativos ao setor automotivo, uma vez que a cadeia de fornecimento é extensa, heterogênea e frequentemente dependente de informações industriais não padronizadas ou de difícil acesso (ISO, 2018).

A dependência de bases secundárias internacionais, que muitas vezes não representam adequadamente as condições brasileiras de energia, transporte e processos industriais, constitui uma das principais limitações práticas na aplicação da ISO 14067 no país. A falta de bases nacionais robustas pode gerar inconsistências metodológicas, dificultar a comparabilidade entre fabricantes e comprometer a consistência dos resultados, desafios diretamente relevantes para a implementação da Portaria MOVER, que exige padronização e transparência nos cálculos da pegada de carbono.

No contexto da MOVER, a ISO 14067 é a norma que apresenta maior aderência aos requisitos de quantificação da pegada de carbono veicular, especialmente por estabelecer indicadores compatíveis com as unidades funcionais previstas no programa (tCO_2e/veículo e gCO_2e/km). Além disso, sua estrutura permite a incorporação de dados nacionais e ajustes metodológicos referentes a combustíveis, eletricidade e processos produtivos brasileiros, o que reforça sua relevância para a

indústria automotiva nacional e para a construção de uma metodologia consistente de reporte obrigatório a partir de 2027 (ISO, 2018).

2.4 GHG Protocol

O GHG Protocol é o padrão internacional mais amplamente utilizado para a contabilização e gestão de emissões de gases de efeito estufa em organizações públicas e privadas. Desenvolvido pelo World Resources Institute (WRI) e pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), o protocolo oferece diretrizes consolidadas para a elaboração de inventários corporativos e para a quantificação das emissões associadas ao ciclo de vida de produtos, sendo reconhecido como referência global em transparência, rastreabilidade e comparabilidade de inventários de GEE (WRI; WBCSD, 2016).

Sua estrutura é organizada em dois padrões principais:

(i) o *Corporate Standard*, voltado à elaboração de inventários corporativos de emissões;

(ii) o *Product Standard*, destinado à avaliação das emissões associadas ao ciclo de vida de produtos específicos.

No contexto automotivo, ambos desempenham papéis complementares, uma vez que permitem capturar emissões tanto ao nível da planta fabril quanto do produto veicular ao longo do seu ciclo de vida.

No *Corporate Standard*, as emissões são classificadas em três escopos que descrevem a origem e o grau de controle da organização sobre cada fluxo de emissão:

Escopo 1 – Emissões diretas

Compreendem emissões provenientes de fontes controladas diretamente pela organização, como combustão em caldeiras e geradores, processos industriais, tratamentos térmicos e a frota própria. No setor automotivo, incluem também emissões de testes de motores e dinamômetros. A clareza sobre limites operacionais e organizacionais é essencial para evitar dupla contagem e garantir consistência.

Escopo 2 – Emissões indiretas de energia

Referem-se às emissões associadas à geração da energia elétrica, vapor, aquecimento ou refrigeração adquiridos pela organização. Como tais emissões

ocorrem fora das instalações industriais, dependem diretamente dos fatores de emissão da rede elétrica utilizada. No Brasil, a variabilidade temporal e regional da matriz elétrica pode alterar significativamente os resultados dos inventários, criando desafios de padronização.

Escopo 3 – Outras emissões indiretas da cadeia de valor

Incluem todas as demais emissões indiretas relacionadas às atividades da organização, como aquisição de matérias-primas, transporte de insumos, viagens corporativas, uso do produto pelo consumidor, descarte e reciclagem. No setor automotivo, este é o escopo mais amplo e complexo, pois engloba emissões de fornecedores globais, etapas logísticas internacionais e uso dos veículos durante toda sua vida útil, uma das parcelas mais significativas da pegada de carbono veicular.

Esses três escopos permitem mapear toda a cadeia de valor, o que é essencial para o setor automotivo, caracterizado por uma cadeia globalizada, fragmentada e com grande dependência de dados secundários de fornecedores. Dessa forma, o GHG Protocol fornece base metodológica essencial para atender às obrigações da Portaria MOVER: o *Corporate Standard* oferece a estrutura necessária para os inventários de GEE das plantas fabris (escopos 1 e 2), exigidos até 2026, enquanto o *Product Standard* subsidia o cálculo da pegada de carbono do veículo a partir de sua modelagem de ciclo de vida, aplicável ao reporte obrigatório a partir de 2027 (GHG PROTOCOL, 2011).

Além da estrutura conceitual dos escopos, o GHG Protocol impõe desafios significativos quando aplicado ao setor automotivo, sobretudo no que se refere ao escopo 3, que é reconhecidamente o mais complexo de mensurar. Isso ocorre porque grande parte das emissões indiretas envolve fornecedores Tier 1, Tier 2 e Tier 3, distribuídos globalmente e com níveis distintos de maturidade ambiental e capacidade de reporte. A obtenção de dados primários ao longo dessa cadeia é frequentemente limitada por barreiras como confidencialidade industrial, falta de padronização metodológica, ausência de inventários consistentes e divergências entre fatores de emissão utilizados por diferentes fornecedores. Como resultado, empresas tendem a recorrer a dados secundários genéricos, o que reduz a precisão, aumenta a incerteza

e compromete a comparabilidade entre inventários corporativos (WRI; WBCSD, 2016).

Outro ponto crítico refere-se à relação entre o escopo 3 e os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Embora ambos tratem de emissões indiretas, suas abordagens são distintas: a ACV considera todos os fluxos de entrada e saída ao longo do ciclo de vida, enquanto o escopo 3 organiza emissões em categorias operacionais. Essa diferença conceitual pode gerar sobreposições metodológicas, riscos de dupla contagem ou, ao contrário, lacunas quando processos são considerados em uma abordagem, mas não na outra. No setor automotivo, isso se acentua porque o uso do veículo, etapa dominante na ACV, também compõe uma das categorias do escopo 3, exigindo alinhamento criterioso para garantir consistência entre inventários corporativos e o cálculo da pegada de carbono veicular exigido pela MOVER (GHG PROTOCOL, 2011).

Esses elementos demonstram que a aplicação integrada do GHG Protocol e da ACV, embora necessária, demanda harmonização metodológica, bases de dados atualizadas e diretrizes nacionais complementares capazes de orientar fabricantes e fornecedores no reporte de emissões de maneira homogênea, transparente e compatível com a regulamentação brasileira.

3 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e documental, com o objetivo de analisar a aplicabilidade das principais normas internacionais de quantificação de emissões ao contexto regulatório do Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER). A Portaria MOVER (2023) foi utilizada como eixo central da investigação, por estabelecer, de forma inédita no país, a obrigatoriedade de inventários de gases de efeito estufa (GEE) e da quantificação da pegada de carbono de veículos novos produzidos ou importados a partir de 2027.

O propósito central desta pesquisa foi avaliar em que medida metodologias consolidadas, como as normas ISO 14040, ISO 14044, ISO 14067 e o GHG Protocol, apresentam compatibilidade com os requisitos definidos pela MOVER para o cálculo

da pegada de carbono veicular e corporativa. Tal análise tornou-se necessária devido ao fato de que, apesar de exigir o cálculo da pegada, a MOVER não define uma metodologia oficial, deixando em aberto critérios técnicos como fronteiras de sistema, bases de dados, unidade funcional, alocação e forma de modelagem do ciclo de vida.

A definição dos critérios de análise baseou-se diretamente nos elementos estabelecidos pela Portaria MOVER, considerados essenciais para atender às obrigações regulatórias. Entre esses elementos destacam-se:

(1) a obrigatoriedade de elaboração de inventários corporativos de GEE das plantas industriais, contemplando, no mínimo, os escopos 1 e 2 até 31 de dezembro de 2026;

(2) a exigência de cálculo da pegada de carbono de veículos com abordagem *cradle-to-grave* a partir de 2027, expressa em tCO_2e/veículo e gCO_2e/km;

(3) a necessidade de utilização de metodologias internacionalmente reconhecidas para a modelagem do ciclo de vida, uma vez que a MOVER não prescreve um método específico; e

(4) a demanda por padronização das fronteiras de sistema e da qualidade dos dados, a fim de possibilitar comparabilidade entre fabricantes no sistema *bonus-malus* previsto pelo programa.

Com base nesses critérios, realizou-se uma análise sistemática das seguintes metodologias:

(a) ISO 14040 e ISO 14044, que definem os princípios, etapas e requisitos técnicos da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV);

(b) ISO 14067, que apresenta diretrizes específicas para o cálculo da pegada de carbono de produtos com base na ACV; e

(c) GHG Protocol, em suas versões *Corporate Standard* e *Product Standard*, que estabelecem estruturas para inventários organizacionais de GEE e para avaliações de emissões ao nível de produto.

A última etapa consistiu na construção de um quadro comparativo, no qual os requisitos da MOVER foram relacionados às diretrizes dessas metodologias. A matriz elaborada permitiu identificar convergências, lacunas e incompatibilidades, além de subsidiar a formulação de uma estrutura metodológica preliminar aplicável ao cálculo

da pegada de carbono veicular no contexto regulatório brasileiro. Espera-se que essa análise contribua para preencher a lacuna metodológica existente na MOVER e apoiar a futura padronização nacional do tema.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados evidencia que, embora a Portaria MOVER (2023) apresente metas claras e prazos definidos para a mensuração da pegada de carbono no setor automotivo, o texto regulatório não estabelece uma metodologia oficial para a realização desses cálculos. A norma especifica o que deve ser mensurado, como os inventários corporativos de GEE e a pegada de carbono dos veículos ao longo de seu ciclo completo de vida, mas não define como tais mensurações devem ser conduzidas. Permanecem indefinidos elementos como a escolha das fronteiras do sistema, o procedimento de coleta e qualificação de dados, as bases de dados permitidas e o método de cálculo aceito para o ciclo de vida.

Essa ausência de padronização metodológica configura uma lacuna crítica, especialmente considerando a obrigatoriedade de reporte da pegada de carbono dos veículos a partir de 2027. Para compreender e caracterizar essa lacuna, este estudo realizou uma análise comparativa entre as exigências técnicas estabelecidas pela Portaria MOVER e as principais metodologias reconhecidas internacionalmente para quantificação de emissões e avaliação do ciclo de vida: ISO 14040/14044, ISO 14067 e o GHG Protocol. O objetivo central foi identificar o grau de aderência dessas metodologias aos requisitos da MOVER, bem como mapear convergências, limitações e incompatibilidades.

Para orientar a comparação, os critérios de avaliação foram definidos a partir dos elementos estruturantes da Portaria MOVER e agrupados em duas dimensões analíticas:

(i) Estrutura Metodológica: contempla os aspectos diretamente relacionados ao cálculo da pegada de carbono, tais como definição de fronteiras do sistema, unidade funcional, abordagem *cradle-to-grave*, uso de dados primários e

secundários, forma de representação das emissões (tCO_2e/veículo e gCO_2e/km) e princípios gerais do estudo de ciclo de vida.

(ii) Conformidade Regulatória e Aplicação: abrange requisitos de natureza normativa e operacional, como inventários corporativos de GEE (escopos 1 e 2), intensidade de carbono da fonte de energia (ICE), reciclabilidade, integração com diretrizes internacionais e grau de compatibilidade entre as metodologias analisadas e as exigências legais de reporte.

Cada um desses critérios foi avaliado quanto ao grau de atendimento pelas metodologias estudadas, sendo classificados como **Atende**, **Atende parcialmente** ou **Não atende**, conforme sua aplicabilidade às demandas estabelecidas pela Portaria MOVER.

Esses resultados são apresentados no quadro a seguir, que sintetiza o nível de convergência metodológica entre a regulamentação brasileira e os referenciais internacionais analisados. O Quadro 1 apresenta a matriz comparativa elaborada, que sintetiza as correspondências, sobreposições e lacunas entre os requisitos da MOVER e as metodologias ISO e GHG Protocol analisadas.

A análise apresentada no Quadro 1 demonstra que nenhuma das metodologias avaliadas atende integralmente a todos os requisitos estabelecidos pela Portaria MOVER (2023), embora cada uma delas ofereça contribuições específicas para a construção de um modelo de quantificação da pegada de carbono aplicável ao setor automotivo brasileiro. De maneira geral, observa-se que as normas ISO e o GHG Protocol possuem enfoques distintos, porém complementares, o que evidencia a necessidade de uma integração metodológica para garantir consistência técnica e conformidade regulatória nas mensurações exigidas pelo programa.

Quadro 1 – Comparação entre metodologias e requisitos da Portaria MOVER

Categoria	Critério de Avaliação (requisitos MOVER)	Descrição	ISO 14040 / 14044	ISO 14067	GHG Protocol	Observação
Estrutura Geral	Pegada de carbono	Abordagem cradle-to-grave (veículo)	Atende parcialmente	Atende	Atende parcialmente	ISO 14040 define a estrutura geral; ISO 14067 e GHG completam o cálculo.
Estrutura Geral	Unidade funcional	tCO_2e/veículo e gCO_2e/km	Atende	Atende	Atende	Todos permitem definição de unidade funcional.
Estrutura Geral	Abrangência	Análise cradle-to-grave	Atende	Atende	Atende	Cobertura completa nas três metodologias.
Conformidade	Reciclabilidade	Percentual da massa reaproveitável	Não atende	Não atende	Não atende	Lacuna metodológica – requer parâmetro nacional.
Conformidade	Intensidade de carbono da fonte de energia (ICE)	gCO_2e/MJ	Não atende	Não atende	Atende parcialmente	Nenhuma norma fornece metodologia específica.
Estrutura Geral	Inventário GEE	Escopos 1 e 2	Não atende	Não atende	Atende	Apenas o GHG trata diretamente de inventários organizacionais.
Estrutura Geral	Dados primários e secundários	Qualidade e hierarquia de dados	Atende	Atende	Atende	Critério comum às três metodologias.
Conformidade	Integração entre normas	Base metodológica reconhecida pela MOVER	Não atende	Não atende	Não atende	Lacuna normativa – MOVER ainda não define metodologia oficial.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os critérios relativos à reciclabilidade e à intensidade de carbono da fonte de energia (ICE) configuram as principais lacunas metodológicas identificadas. Nenhuma das normas analisadas apresenta um procedimento específico para cálculo da reciclabilidade veicular, que aparece apenas como etapa final em estudos de ACV. De modo semelhante, a ICE exige o uso de fatores de emissão e parâmetros

energéticos nacionais, extrapolando o escopo das normas internacionais. Esses pontos indicam que a implementação plena da MOVER deverá ser acompanhada pelo desenvolvimento de diretrizes complementares ou guias metodológicos nacionais capazes de adaptar os referenciais internacionais ao contexto brasileiro.

De forma sintética, os resultados indicam que o atendimento às exigências da MOVER não pode ser alcançado por meio de uma única metodologia. O caminho mais robusto consiste em articular o rigor técnico das normas ISO, fundamentais para os estudos de ciclo de vida e pegada de carbono, com a estrutura organizacional e de inventários corporativos do GHG Protocol. Essa integração metodológica se apresenta como a solução mais consistente para suprir a lacuna regulatória existente e para padronizar a quantificação da pegada de carbono no setor automotivo nacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente as principais normas e metodologias internacionais aplicáveis à quantificação da pegada de carbono, avaliando sua aderência aos requisitos definidos pela Portaria MOVER (2023). A partir da revisão dos conceitos essenciais, como pegada de carbono, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e inventários de emissões, e da análise detalhada das normas ISO 14040/14044, ISO 14067 e do GHG Protocol, foi possível identificar convergências metodológicas, complementaridades e limitações relevantes para a implementação do programa no setor automotivo brasileiro.

Os resultados evidenciam que, embora as normas ISO forneçam uma base técnica robusta para estudos *cradle-to-grave* e para a quantificação da pegada de carbono de produtos, e o GHG Protocol apresente uma estrutura consolidada para inventários corporativos de GEE, nenhuma dessas metodologias, de forma isolada, é capaz de atender integralmente às exigências previstas pela MOVER. Aspectos como a intensidade de carbono da fonte de energia (ICE) e os critérios de reciclabilidade, por exemplo, não são abordados de forma explícita ou padronizada pelas normas analisadas, evidenciando a necessidade de adaptações metodológicas e da formulação de diretrizes complementares no contexto nacional.

A matriz comparativa elaborada no estudo demonstrou que o atendimento pleno às obrigações regulatórias da MOVER requer a integração de diferentes normas, combinando:

(i) os princípios e etapas da ACV definidos pelas ISO 14040 e 14044;

(ii) a estrutura específica de cálculo da pegada de carbono de produtos estabelecida pela ISO 14067;

(iii) a abordagem organizacional de inventários corporativos prevista no GHG Protocol.

Tal integração constitui a abordagem metodológica mais consistente para assegurar rigor técnico, comparabilidade e transparência nos cálculos de pegada de carbono veicular.

Conclui-se que o avanço da padronização nacional dependerá não apenas da adoção de normas internacionais, mas da elaboração de orientações metodológicas brasileiras capazes de preencher as lacunas identificadas, especialmente no que diz respeito à definição de parâmetros nacionais de ICE, ao desenvolvimento de bases de dados representativos da realidade brasileira e ao estabelecimento de critérios objetivos para reciclabilidade. Essas iniciativas são fundamentais para garantir que a implementação da MOVER cumpra sua função de induzir a descarbonização da indústria automotiva, fomentar a competitividade tecnológica do setor e promover a integração do país às melhores práticas globais de gestão ambiental.

Dessa forma, este estudo contribui ao demonstrar que a estrutura metodológica necessária para o atendimento à MOVER não está plenamente contemplada em um único padrão internacional, mas pode ser construída a partir da articulação entre metodologias consolidadas, complementada por diretrizes nacionais. Os resultados apresentados fornecem subsídios relevantes para pesquisadores, formuladores de políticas públicas e agentes industriais interessados no desenvolvimento de métodos consistentes e padronizados para o cálculo da pegada de carbono no contexto da mobilidade sustentável brasileira.

REFERÊNCIAS

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). *Descarbonização dos transportes: perspectivas diante da transição energética*. Rio de Janeiro: BNDES, 2025. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/publicacoes/livros/descarbonizacao-dos-transportes. Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Agência Brasil. *Efeito estufa: transporte responde por 25% das emissões globais*. 11 dez. 2018. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais. Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Medida Provisória nº 1.205, de 30 de dezembro de 2023. Institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação - Programa MOVER. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2023.

ENERGIA & AMBIENTE. Entenda as emissões de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais no Brasil em 2023. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/entenda-as-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-no-brasil-em-2023-20241113#:~:text=Transporte%20registrou%20aumento%20de%203,…. Acesso em: 20 nov. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. *Cars and vans – transport decarbonisation*. European Climate Action. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/road-transport/cars-and-vans_en. Acesso em: 20 nov. 2025.

GHG PROTOCOL. *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. Washington, DC: World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, 2011. Disponível em: https://ghgprotocol.org/product-standard. Acesso em: 08 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – o que é o ACV?* Disponível em: https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/. Acesso em: 20 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O que é Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Brasília: IBICT, 2025. Disponível em: https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/. Acesso em: 08 fev. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE. Pegada de carbono: impactos, desafios e caminhos para um futuro sustentável. São Paulo: IEE-USP, 2024. Disponível em: https://www.iee.usp.br/noticia/pegada-de-carbono-impactos-desafios-e-caminhos-para-um-futuro-sustentavel/#pegada%20de%20carbono. Acesso em: 8 fev. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the IPCC.* Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/. Acesso em: 8 fev. 2025.
ISO. ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva: International Organization for Standardization, 2006a. Disponível em: https://www.iso.org/standard/37456.html. Acesso em: 08 fev. 2025.

ISO. ISO 14044: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization, 2006b. Disponível em: https://www.iso.org/standard/38498.html. Acesso em: 08 fev. 2025.

ISO. ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. Geneva: International Organization for Standardization, 2018. Disponível em: https://www.iso.org/standard/71206.html. Acesso em: 08 fev. 2025.

NOVAIS, Stéfano Araújo. *Gases do efeito estufa: quais são, como agem*. Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/gases-efeito-estufa.htm. Acesso em: 20 nov. 2025.

SEMIL. Gases de efeito estufa (GEE). Portal de Educação Ambiental – São Paulo, 24 mar. 2023. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/efeito-estufa/. Acesso em: 20 nov. 2025.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Final rule: multi-pollutant emissions standards for model years 2027 and later light-duty vehicles and my-line/engine families*. Disponível em: https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-multi-pollutant-emissions-standards-model?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 20 nov. 2025.

WRI; WBCSD. *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*. Washington, DC: World Resources Institute; World Business Council for Sustainable Development, 2016. Disponível em: https://ghgprotocol.org/corporate-standard. Acesso em: 08 fev. 2025.

Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.