

NOTA TÉCNICA

Visão dos Especialistas para a Descarbonização do Transporte Rodoviário de Longa Distância Brasileiro: Impactos, Desafios e Oportunidades.

Setembro de 2025



Produto elaborado para:

Instituto Clima e Sociedade - iCS

Projeto

Roadmap para a Descarbonização do Transporte Rodoviário de Longa Distância, Marítimo e Aéreo de Cargas no Brasil.

Coordenação

Suzana Kahn Ribeiro

Equipe Técnica

Márcio de Almeida D'Agosto
Lino Guimarães Marujo
Daniel Neves Schmitz Gonçalves
Lorena Mirela Ricci

Revisão Técnica

Carine Lacerda
Tamar Roitman

Design Gráfico e Diagramação:

Vitor Olavo de Oliveira Castro Moreira
Lyvia Costa dos Santos





Resumo Executivo

Esta nota técnica, sumariza a visão de especialistas do setor de transporte sobre as medidas mais prováveis e as prioridades de investimento e políticas públicas para a descarbonização do transporte rodoviário de longa distância no Brasil. Analisa a probabilidade de adoção de diferentes tecnologias e combustíveis (elétricos à bateria, híbridos, gás, biodiesel, diesel verde etc.), a importância de práticas de eficiência e otimização operacional e os principais riscos e barreiras percebidos.





1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento demográfico e econômico, a atividade de transportes deve aumentar, o que pode elevar a demanda de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Assim, a descarbonização do setor de transportes é um desafio a ser enfrentado para limitar as mudanças do clima (Gonçalves, 2022), uma vez que o setor de transportes é um dos principais consumidores de combustíveis fósseis, utilizando cerca de 95% dos derivados de petróleo ofertados no mundo (IEA, 2023).

Globalmente, as emissões diretas do setor de transporte foram de cerca de 8,9 GtCO_{2e} em 2019, correspondendo a cerca de 15% do total de emissões de GEE e 23% das emissões de CO₂ relacionadas à energia, sendo a maior fonte de emissões do setor. Destaca-se que o transporte rodoviário é responsável por 6,1 GtCO_{2e} (69% do total). O transporte marítimo internacional e a aviação internacional são responsáveis, respectivamente, por 0,8 GtCO_{2e} (9%) e 0,6 GtCO_{2e} (7%). As emissões do transporte rodoviário cresceram a uma taxa de 1,7% entre 2010 e 2019 e as da aviação internacional cresceram 3,4% ao ano, de acordo com a rápida expansão da atividade de transporte no globo, que cresceu 73% entre 2000 e 2018. O transporte de carga, em particular, cresceu 68% entre 2000 e 2015 e deve triplicar até 2050 com as cadeias de suprimentos globais e o comércio internacional, o que torna a descarbonização deste segmento particularmente desafiadora (IPCC, 2022).

Em 2023 no Brasil, o setor de transportes representou cerca de 1/3 do consumo final de energia, sendo que apenas 22,5% da sua matriz energética veio de fontes renováveis (EPE, 2024), além disso, o setor de transportes foi responsável por 44% das emissões de CO_{2e} do setor energético (SEEG, 2024), o que leva a necessidade de pensar em várias soluções, sem exclusão obrigatória do fóssil, para a descarbonização deste setor, ainda mais se considerarmos que houve um crescimento de 47% do transporte de carga no Brasil de 2005 a 2015 (GONÇALVES e D'AGOSTO, 2017).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e economia diversificada, depende fortemente do transporte rodoviário para cargas pesadas. Ao contrário dos modos aquático e aéreo, que têm metas estabelecidas para a descarbonização, o transporte rodoviário ainda não possui metas para reduzir suas emissões de carbono.

Portanto, é necessário a criação de roadmaps realistas para a transição energética dos diversos segmentos do setor, com base no princípio de políticas "sem arrependimentos", sendo monitoradas, verificadas e reportadas regularmente as condições de mercado e inovações tecnológicas, além de evitar políticas que promovam bloqueios tecnológicos (*lock-in*), promovendo a competição entre as rotas tecnológicas (EPE, 2024).

Dessa forma, esta nota técnica tem como objetivo apresentar os resultados preliminares do projeto de pesquisa "Roadmap para a Descarbonização do Transporte Rodoviário de Longa Distância, Marítimo e Aéreo de Cargas no Brasil" conduzido pelo Laboratório de Transporte de Carga (LTC) da COPPE/UFRJ com apoio do Instituto Clima e Sociedade (iCS), analisando, a partir de uma síntese da visão de especialistas do setor de qual serão as rotas e estratégias possivelmente adotadas para a descarbonização, fornecendo um panorama das perspectivas e dos caminhos a serem seguidos para a transição energética e tecnológica do transporte rodoviário de longa distância.



2. METODOLOGIA

Foi aplicada uma pesquisa estruturada com especialistas (7) selecionados do presente modo de transporte, que atuam nas áreas de logística siderúrgica, tecnologia da informação, transporte rodoviário de cargas, logística de papel e celulose, energia (distribuição de combustíveis), logística e transporte e representação setorial, onde foi apresentado o contexto do projeto na qual a pesquisa está inserida e do modo a ser avaliado. Os questionamentos incluídos na pesquisa foram baseados nos resultados obtidos à partir de uma revisão bibliográfica narrativa e documental, onde foram mapeadas as tendências nacionais e mundiais quanto a transição energética e tecnológica do transporte de carga (rodoviário de longa distância, marítimo e aéreo) e também dos resultados obtidos a partir do 5º Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes (WCPUET) (COSTA, 2024).

As perguntas do questionário foram do tipo escala de Likert para a probabilidade de uso das medidas de descarbonização (1 - pouco provável, 2 - menos provável, 3 - provável, 4 - mais provável e 5 - muito provável), relevância das barreiras para implementação das alternativas de descarbonização (barreira não relevante, pouco relevante, relevante, muito relevante e barreira crítica) e relevância das estratégias de descarbonização (estratégia não relevante, estratégia pouco relevante, relevante, muito relevante e estratégia crítica). Além disso, houve perguntas para classificação dos riscos em baixo, médio ou alto com relação ao potencial impacto e probabilidade de ocorrência. Além disso, foi realizado também um aprofundamento em qual seria o combustível alternativo focal para a transição energética do modo e qual o percentual de mistura do biocombustível no combustível rodoviário é produtivo e economicamente viável para o Brasil, nos horizontes de 2035 e 2050. Por fim, foram feitas perguntas abertas onde os especialistas tiveram oportunidade de deixar críticas e sugestões para a descarbonização do transporte rodoviário de longa distância de cargas do Brasil.



3. PANORAMA PARA A DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE AÉREO DE CARGAS

A seguir é apresentado uma análise da percepção dos especialistas com relação à descarbonização do transporte rodoviário de longa distância de cargas brasileiro. Como este estudo foi baseado na percepção dos especialistas com relação aos caminhos para a descarbonização do transporte rodoviário de longa distância, os resultados e conclusões apresentados se limitam às percepções deles.



3.1 Medidas de mitigação

Para entendermos qual a percepção dos especialistas com relação aos possíveis caminhos para descarbonização, foi indagado sobre qual a probabilidade, das medidas listadas, serem utilizadas para a descarbonização do modo, sendo classificado em uma escala de Likert de 1 a 5, sendo 1 para pouco provável e 5 para muito provável. As medidas apresentadas foram as seguintes:

- Adoção de caminhões elétricos;
- Adoção de veículos híbridos (Diesel-Elétricos) e/ou implementos eletrificados;

- ⚙ Utilização de frota a gás (GNV/Biometano);
- ⚙ Biodiesel convencional;
- ⚙ Biodiesel bidestilado;
- ⚙ Diesel verde;
- ⚙ Práticas de condução eficiente;
- ⚙ Otimização inteligente de rotas e alocação de frota;
- ⚙ Qualidade de pavimento das rodovias;
- ⚙ Incentivo à mudança modal da carga para o transporte ferroviário;
- ⚙ Incentivo à mudança modal da carga para o transporte aquático.

Para os especialistas, práticas de condução eficiente, otimização inteligente de rotas e alocação de frota são as medidas com maior probabilidade de ocorrência, uma vez que são medidas que possuem ganho imediato e baixo custo de aplicação, seguido do uso de combustíveis alternativos, com o uso de veículos movidos a gás e uso de biocombustíveis, demonstrando que o foco da descarbonização do modo estará no aumento da eficiência energética e uso de combustíveis menos poluentes, que já se encontram disponíveis no mercado, sendo o cerne destas medidas o aprimoramento tecnológico dos veículos para recepção adequada dos combustíveis alternativos e menor perda/equiparação da eficiência energética em comparação com o diesel. Entretanto, os especialistas consideram que a adoção de sistemas de propulsão alternativos (elétricos e híbridos) possuem menor probabilidade de liderarem a transição tecnológica deste segmento de longa distância, dado o investimento necessário para aquisição dos veículos e implementação da infraestrutura de carregamento nas rodovias brasileiras.

3.2 Percepções sobre a descarbonização e rotas tecnológicas

Quando se trata da participação do biodiesel na mistura com o diesel, é previsto uma variação do percentual de 7% a 30%, com média em torno de 20-30% para o horizonte de 2035, já para o horizonte de 2050, a variação aumentou, com um dos especialistas entendendo que pode chegar até 100% a participação do biodiesel, a média se manteve em torno de 30-40% de participação. No caso do diesel verde, as projeções são para uma participação mais baixa, variando de 0% a 7%, com média de 5% para 2035, com um aumento mais significativo para 2050, variando de 5% a 25% e média de 20-25% de participação deste biocombustível.

No que se refere à participação das vendas de novos caminhões pesados com tecnologias alternativas, os especialistas apontaram que haverá uma participação mais forte dos veículos elétricos (3-30%) e a gás natural/biometano (7-10%), com uma leve participação do hidrogênio.

Em geral, os especialistas entendem que foco principal dos investimentos para a descarbonização do transporte rodoviário de longa distância estará pautado na adoção dos veículos movidos a gás natural/biometano (57%), seguido da produção e uso de biodiesel bidestilado isoladamente (14,3%) ou associado com outras medidas (14,3%) e, por fim, com uso do diesel verde (14,3%), isso para o horizonte de 2035 (Figura 1). Os veículos movidos a gás natural/biometano (42,9%) continuam sendo a principal escolha para 2050 (Figura 2), também seguido do biodiesel bidestilado (28,6%), sendo mencionada a inserção dos veículos movidos a hidrogênio (14,3%), além do diesel verde a partir do óleo vegetal (14,3%).

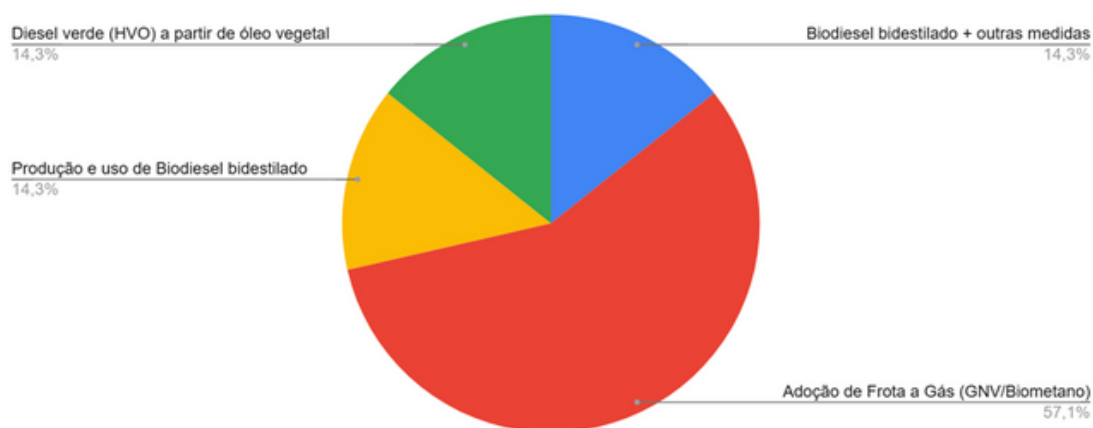


Figura 1: Foco principal e prioritário dos investimentos e políticas públicas (2026-2035).

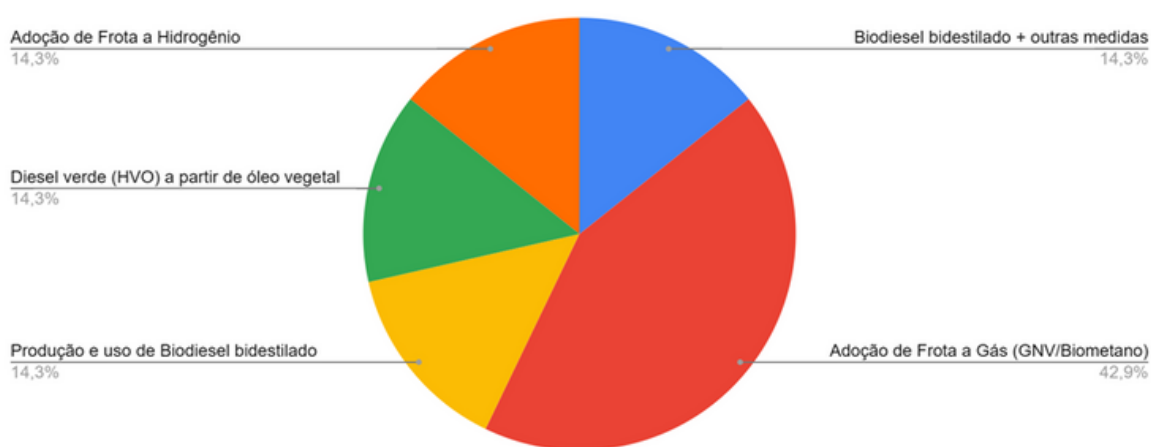


Figura 2: Foco principal e prioritário dos investimentos e políticas públicas (2035-2050).

Com relação aos riscos, o lobby da cadeia automotiva nacional é a maior preocupação segundo os especialistas, uma vez que isso pode inviabilizar o avanço de novas tecnologias na participação de mercado em detrimento das já existentes. Na Figura 3, é possível observar a matriz de risco para o transporte rodoviário de longa distância. Para a alocação dos riscos dentro da matriz, para casos de convergência da resposta foi considerada a moda, quando não houve convergência entre as respostas foi considerada a média.

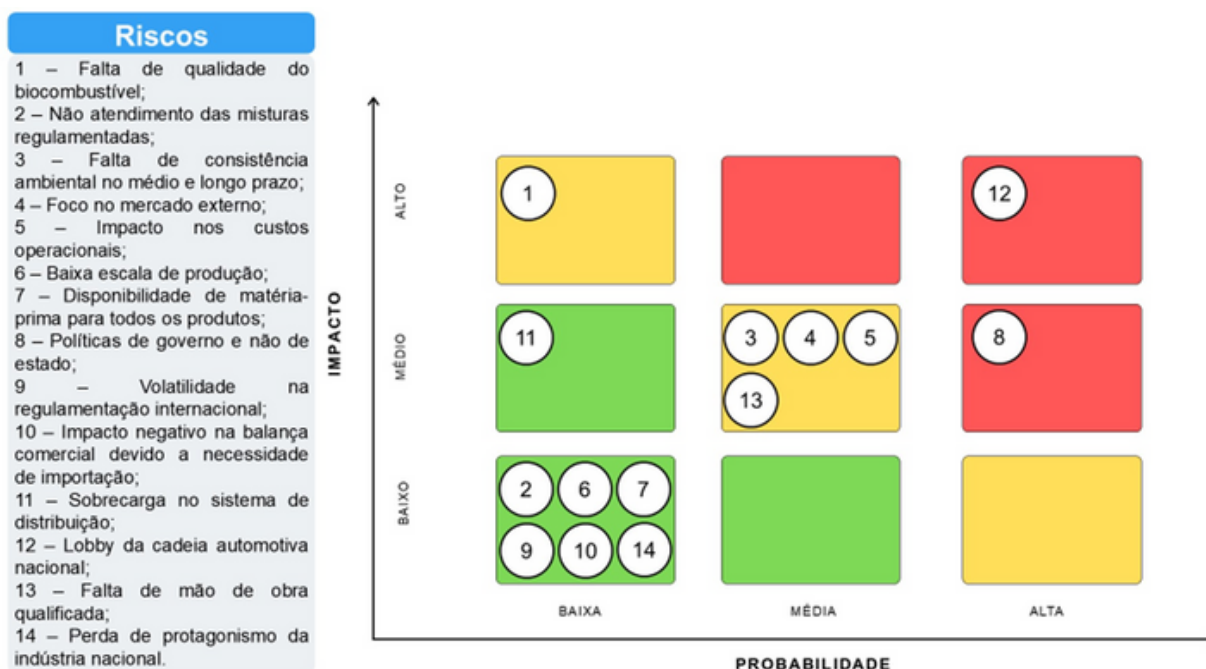


Figura 3: Matriz de risco do transporte rodoviário de longa distância de cargas.

Outro ponto que foi enfatizado pelos especialistas, é a necessidade de políticas de governamentais, a nível nacional, para garantir a aplicação das medidas, a qualidade do biocombustível, priorização do mercado nacional, principalmente na oferta de combustíveis alternativos, e consistência das ações tomadas, já que ações descoordenadas impactam significativamente os custos operacionais. Além disso, os especialistas consideram que a falta de políticas públicas, ausência de normas e regulamentos claros, associado a falta de desenvolvimento tecnológico, ao investimento elevado e falta de incentivo são barreiras muito relevantes para o avanço da descarbonização do modo.

No âmbito das estratégias que podem viabilizar a descarbonização do modo, o foco está na criação de uma política nacional de uso de energia em transportes, apoiadas pelo o desenvolvimento de normas e regulamentos claros, juntamente com o estabelecimento de metas, somadas a existência de subsídios financeiros, incentivos fiscais e comercialização de carbono, além do investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico bem como modernização da infraestrutura de abastecimento, tendo assim, um conjunto de ações que são essenciais para o avanço da descarbonização do transporte rodoviário de longa distância.



4. RECOMENDAÇÕES

Com base nas percepções dos especialistas, recomenda-se:

- Fortalecer a Política de Biocombustíveis:** Avançar no aumento do percentual de mistura de biodiesel e diesel verde, com foco no aumento da escala de produção e garantia da disponibilidade de matéria-prima;

- Estabelecer um Marco Regulatório: Desenvolver e implementar uma política nacional de uso de energia para o transporte que seja de governo, não de estado, com normas e regulamentações claras e consistentes, evitando a volatilidade e oferecendo segurança jurídica para investimentos;
- Promover e Fortalecer a Eficiência Operacional: Disseminar e incentivar amplamente as práticas de condução eficiente e o uso de ferramentas de otimização inteligente de rotas e alocação de frota;
- Investir em Infraestrutura de Abastecimento: Expandir a infraestrutura de abastecimento para os combustíveis alternativos (gás, elétrico);
- Apoiar a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): Investir em P&D para aprimorar tecnologias de veículos e combustíveis, incluindo a melhoria da eficiência energética e a expansão da autonomia das baterias para futuras aplicações elétricas de longa distância;
- Fornecer Subsídios no Curto Prazo: Criar e expandir linhas de crédito e subsídios para reduzir o impacto nos custos operacionais e mitigar os altos investimentos iniciais em novas tecnologias.
- Monitorar e Avaliar o Progresso: Implementar um sistema robusto de monitoramento das emissões e do progresso da descarbonização para ajustar as estratégias conforme necessário.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os especialistas indicam que a descarbonização do transporte rodoviário de longa distância no Brasil será impulsionada principalmente pela utilização de frota a gás natural (GNV/Biometano) e pelo uso crescente de biocombustíveis, como biodiesel e diesel verde. Medidas de eficiência energética, como condução e otimização de rotas, são vistas como cruciais no curto prazo. A eletrificação de caminhões de longa distância ainda é vista com cautela, devido aos desafios com a autonomia da bateria e infraestrutura de carregamento.

As principais preocupações incluem o alto custo operacional, a baixa escala de produção de novos combustíveis, a falta de matéria-prima, e a instabilidade das políticas públicas e regulamentações, que podem ser mitigadas com a criação de uma política nacional de uso de energia em transportes, contando com o apoio de subsídios financeiros para impulsionar a descarbonização do modo.

REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023. Produção e Fornecimento de Biocombustíveis. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis>.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2025. Produção de Derivados de Petróleo e Processamento de Gás Natural. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>

COSTA, M. G.et al. V Workshop de Cenários Prospectivos de Uso de Energia em Transportes. Rio de Janeiro, RJ: IBTS, 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Plano Decenal de Expansão de energia 2034. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>.

GONÇALVES, D. N. S.; D'AGOSTO, M. de A. Future prospective scenarios for the use of energy in transportation in Brazil and GHG emissions, Business as Usual (BAU) scenario – 2050, Final Report. 1ª ed, Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), Rio de Janeiro, 2017.

GONÇALVES, D. N. S. Elaboração de Cenários Prospectivos para o Uso de Energia e Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes Brasileiro - Uma Abordagem Multinível. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

IEA – International Energy Agency, 2023. Net Zero Roadmap: A global Pathway to keep the 1,5ª g Goal in reach. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. AR6 - Mitigation of Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, 2024, Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil (1970-2023). Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>.

United Nations, 2023. Review of Maritime Transport - 2023, Towards a green and just transition. United Nations Conference on trade and development. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf .





Anexo I

Glossário dos combustíveis

As definições apresentadas a seguir estão disponíveis no site da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023; ANP, 2025).

Diesel: O óleo diesel é um combustível líquido derivado de petróleo, composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor proporção, nitrogênio, enxofre e oxigênio. É utilizado principalmente nos motores ciclo Diesel (de combustão interna e ignição por compressão) em veículos rodoviários, ferroviários e marítimos e em geradores de energia elétrica.

Biodiesel: O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel).

Diesel Verde: Combustível renovável para motores a combustão de ciclo diesel, produzido a partir de matérias-primas renováveis, como gorduras de origem vegetal animal, cana-de-açúcar, etanol e outras biomassas.

Gás Natural: Gás natural é uma substância composta por hidrocarbonetos que permanecem em estado gasoso nas condições atmosféricas normais. É essencialmente composta pelos hidrocarbonetos metano (CH_4), com teores acima de 70%.

O Gás Natural Veicular (GNV): é uma mistura combustível gasosa, proveniente do gás natural, destinada ao uso veicular e cujo componente principal é o metano.

Biometano: É obtido por meio de um processo de purificação do biogás, que é gerado por meio da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, podendo ser produzido a partir de fontes orgânicas (resíduos agrícolas, resíduos sólidos urbanos, esgotos entre outros materiais orgânicos biodegradáveis).





*Por um Brasil resiliente e
descarbonizado.*



Laboratório de
Transporte de Carga

COPPE
UFRJ

