



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA EMISSÕES DE GEE E POLUENTES LOCAIS

Acordo de Cooperação Técnica – EPL e IEMA



Empresa de Planejamento e Logística S.A.



INTRODUÇÃO

Em 2019, segundo dados do Balanço Energético Nacional, mais de 58% das emissões de CO₂ (2 formatado como subscrito) do setor energético brasileiro estão relacionadas a atividade de transporte. Desse montante de emissões, uma parcela expressiva diz respeito às atividades do transporte inter-regional de cargas.

A Empresa de Planejamento e Logística (EPL) é responsável pelo planejamento nacional de transportes e pela realização de diversas pesquisas e estudos no setor. Esses estudos identificam intervenções na infraestrutura de transportes e medidas complementares, capazes de incentivar a utilização das ferrovias, da cabotagem e das hidrovias como sistemas de alta capacidade de cargas, integrados em terminais multicargas à malha rodoviária de forma eficiente.

Com o incentivo para a utilização de modos de alta capacidade, espera-se uma malha de transportes mais equilibrada no Brasil. Com menor participação do modo rodoviário e mais presença dos modos ferroviário e aquaviário (cabotagem e navegação de interior), estima-se uma redução nas emissões totais de gases de efeito estufa.

No Panorama 2015, desenvolvido pela EPL, foi incluído o levantamento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) por modo de transporte para as principais categorias de produtos. O cálculo é feito com base em uma adaptação utilizando a metodologia da Agência Europeia de Meio Ambiente – EEA (*European Environment Agency*).

Após a finalização do Panorama 2015, a EPL verificou a necessidade de ampliar os estudos relacionados com as emissões dos demais gases de efeito estufa, a exemplo dos óxidos de nitrogênio (NO_x) e do dióxido de enxofre (SO₂), visto a importância do setor de transporte como fonte

emissora desses gases. Além disso, é fundamental que a compatibilização das projeções utilizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) na formulação do Plano Nacional de Energia (PNE) e do Plano Decenal de Energia (PDE) com àquelas utilizadas pela EPL no desenvolvimento de seus estudos para o setor de transportes, sobretudo em função da participação relevante desse setor no consumo de derivados de petróleo.

Diante desse contexto, foi firmado um acordo de parceria com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) com o objetivo de desenvolver estudos sobre a situação atual e a evolução futura das emissões de GEE do transporte de cargas no Brasil. Os estudos permitem também análises acerca das possíveis emissões atmosféricas associadas às alternativas apresentadas no Plano Nacional de Logística (PNL).

As estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois conjuntos principais de informações: Taxa de Atividade (distância percorrida, energia consumida, carga transportada, no caso do transporte de cargas) e Fator de Emissão (quantidade de gases emitidos por unidade da taxa de atividade). Elas apresentaram, a partir de simulações de transporte, estimativa de consumo de combustível e de emissões atmosféricas.


Ressalta-se que essa metodologia é fundamental para a mensuração das emissões de GEE, sobretudo relacionada ao planejamento de longo prazo. Adicionalmente, a metodologia da EPL auxilia no processo de certificação de projetos sustentáveis, como aqueles que constam no programa de concessões do Ministério da Infraestrutura, de forma a consolidar a política como um dos pilares para o desenvolvimento da infraestrutura de transportes e consequentemente para o crescimento econômico brasileiro.



SUMÁRIO


- 05 OBJETIVOS
- 06 METODOLOGIA UTILIZADA NO PANORAMA 2015 DA EPL
- 10 ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA
- 16 METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS
- 40 RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE
- 43 REFERÊNCIAS

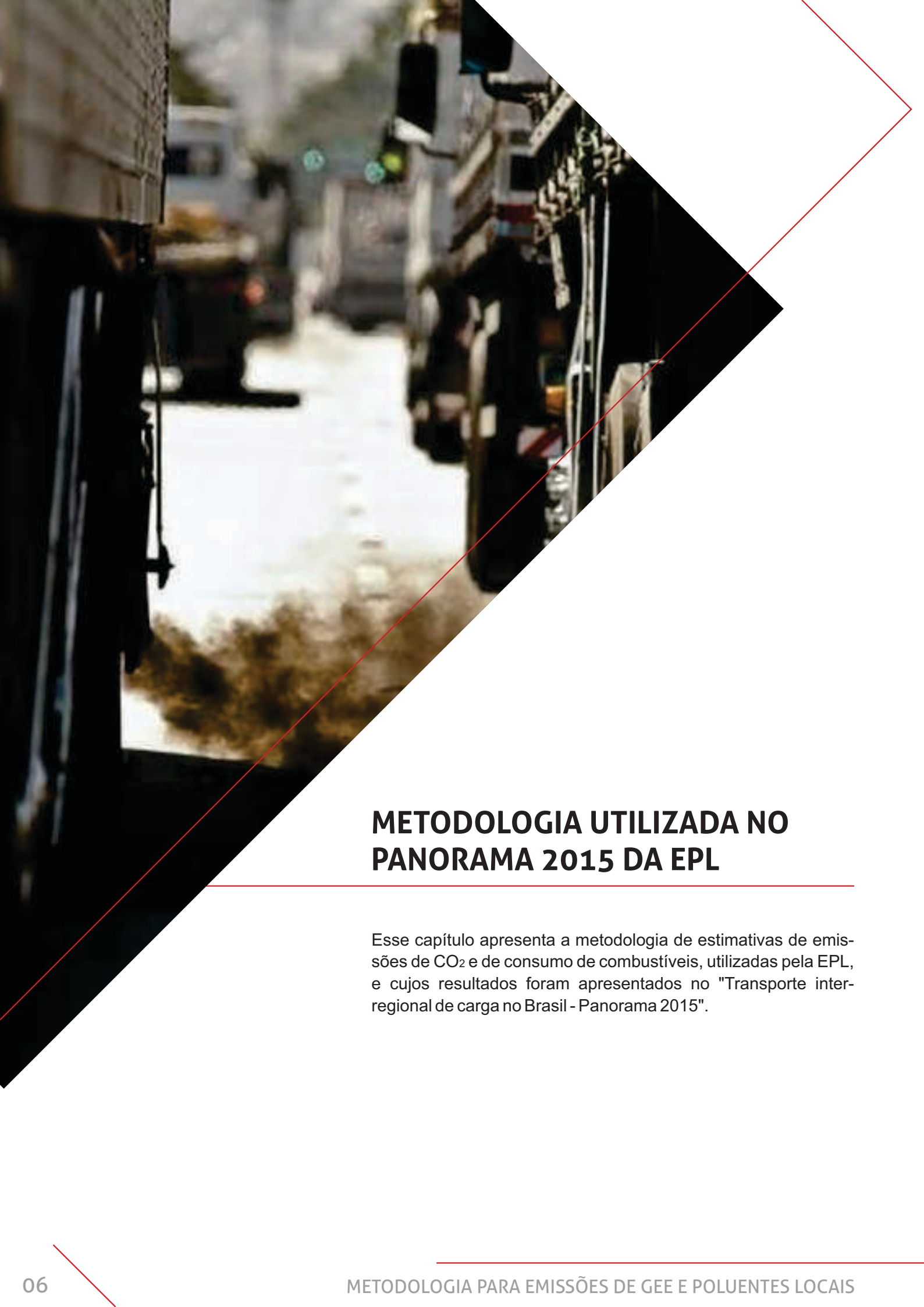
OBJETIVOS



Desenvolvimento de estudo sobre a situação atual e a evolução futura das emissões de GEE do transporte de cargas no Brasil.

Participar das discussões das análises acerca das possíveis emissões atmosféricas associadas às alternativas apresentadas no PNL.





METODOLOGIA UTILIZADA NO PANORAMA 2015 DA EPL

Esse capítulo apresenta a metodologia de estimativas de emissões de CO₂ e de consumo de combustíveis, utilizadas pela EPL, e cujos resultados foram apresentados no "Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015".

METODOLOGIA UTILIZADA NO PANORAMA 2015 DA EPL

Abordagem ASIF (Atividade | Estrutura | Intensidade | Combustível) de estimativa de emissões de transportes

$$E_{GEE,m} = A * S_m * I_m * F_{m,c}$$

$$gGEE = \underbrace{tku * \%tku_m}_{\text{Variam com a atividade de transporte / economia}} * \underbrace{\frac{L}{tku}}_{\text{Varia com o modo (configuração tecnológica e condições operacionais)}} * \underbrace{\frac{gGEE}{L}}_{\text{Varia com o combustível}}$$

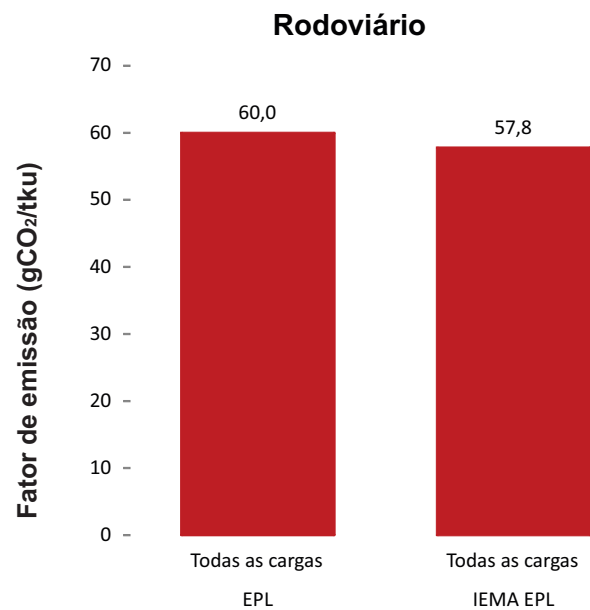
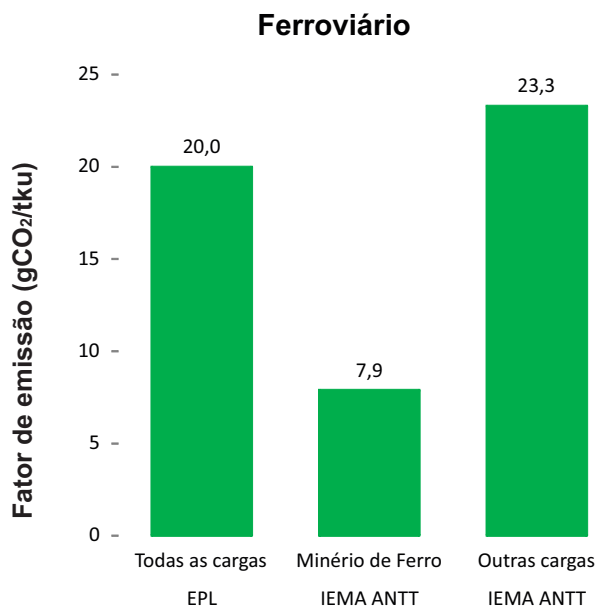
| Escolha da taxa de atividade | Emissões | = | Taxa de Atividade | X | Fator de Emissão |
|------------------------------|------------------|---|-------------------|---|--|
| Consumo de combustível | gCO ₂ | | L J | | gCO ₂ /L gCO ₂ /J |
| Quilometragem percorrida | gCO ₂ | | km | | gCO ₂ /km |
| Movimentação | gCO ₂ | | tku | | gCO ₂ /tku |

Metodologia atual consumo

| Escolha da taxa de atividade | Consumo | = | Taxa de Atividade | X | Consumo Específico |
|------------------------------|-----------------------------|---|-------------------|---|---------------------------|
| Quilometragem percorrida | L J tep | | km | | L/km J/km tep/km |
| Movimentação | m ² mj tep | | tku | | L/tku J/tku tep/tku |

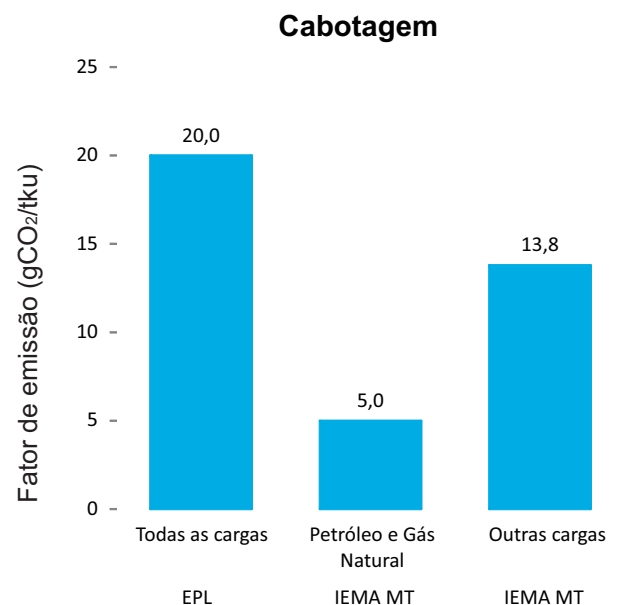
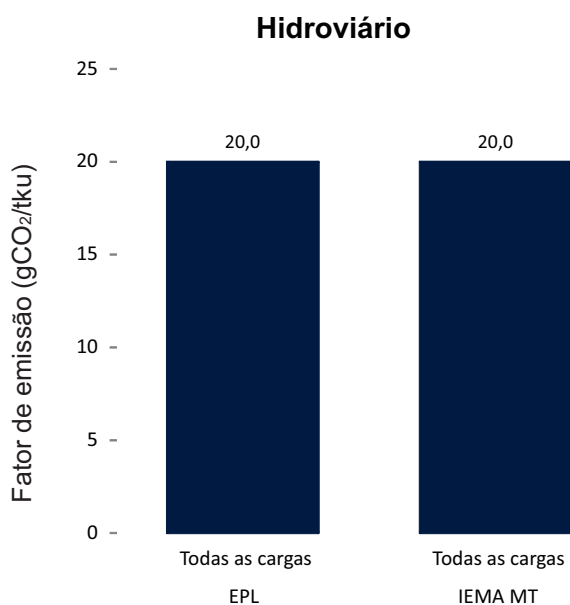
METODOLOGIA UTILIZADA NO PANORAMA 2015 DA EPL

Fatores de emissão em termos de movimentação (gCO₂/tku):



- **EPL:** Panorama 2015 e PNL Consulta Pública
- **IEMA ANTT:** Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas
- **IEMA EPL:** Fator implícito baseado no SEEG e no PNL Consulta Pública

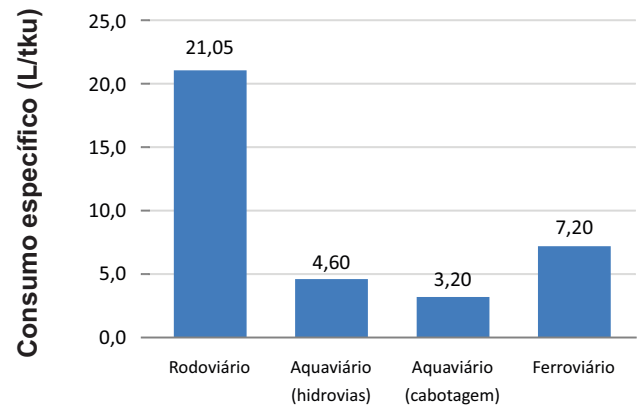
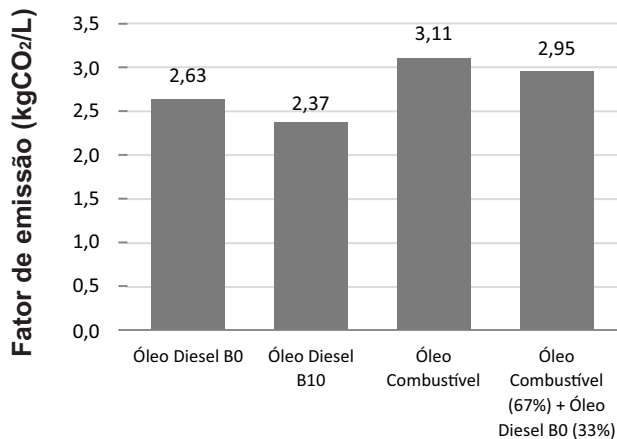
Fatores de emissão em termos de movimentação (gCO₂/tku):



- **EPL:** Panorama 2015 e PNL Consulta Pública
- **IEMA MT:** Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM)

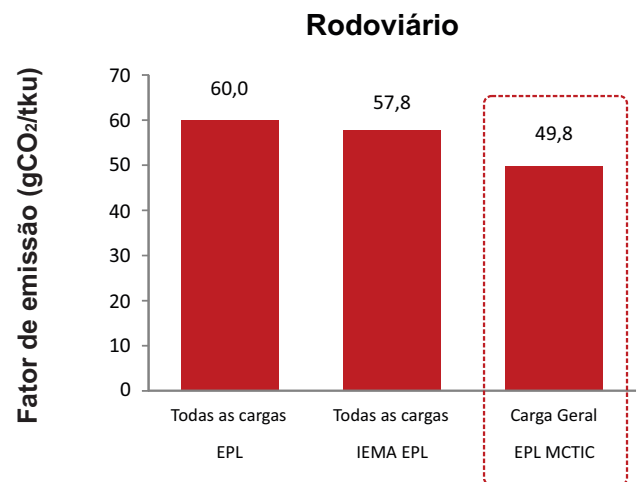
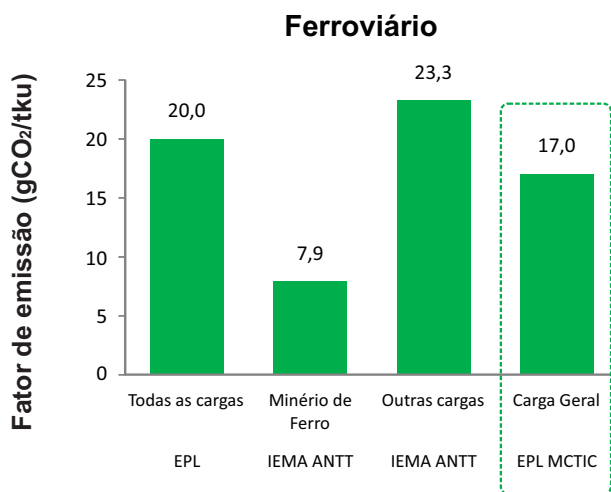
METODOLOGIA UTILIZADA NO PANORAMA 2015 DA EPL

Fatores de emissão em termos de combustível (gCO₂/L):

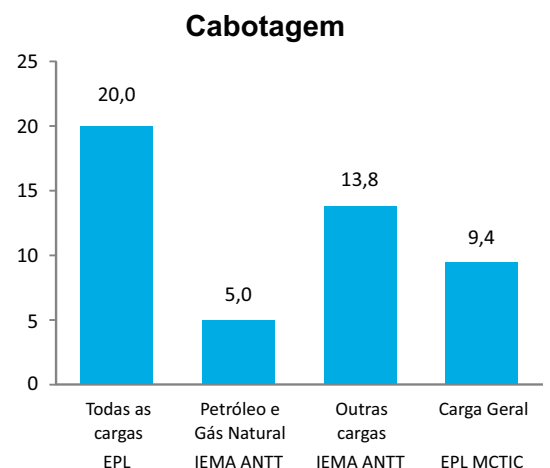
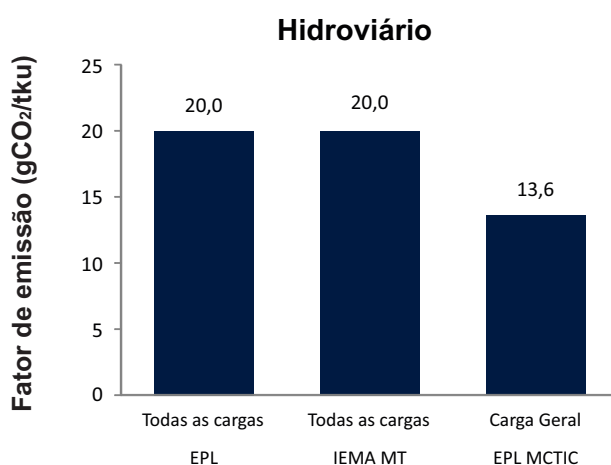


- **Fonte:** 3ª Comunicação Nacional (MCTIC, 2016)
- **Fonte:** Apresentação EPL
- **Rodoviário e Ferroviário:** Óleo Diesel B10
- **Aquaviário:** 67% Óleo Combustível + 33% Óleo Diesel B0

Novos fatores de emissão em termos de movimentação (gCO₂/tku):



Novos fatores de emissão em termos de movimentação (gCO₂/tku):





ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Análise comparativa entre a metodologia EPL-IEMA de emissões de GEE com outros estudos de referência.

ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Estudos comparados:

- Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil (MCTIC, 2017);
- Plano Nacional de Expansão de Energia – PDE (EPE/MME, 2017); e
- Plano Nacional de Logística – PNL (EPL, 2017).

Dimensões comparadas:

- Movimentação de transporte de carga (tku);
- Consumo de energia (L, tep); e
- Emissões de gases de efeito estufa.

Análise comparativa

| Dimensão de análise | | Opções (MCTIC, 2017) | PDE (EPE/MME, 2017) | PNL (EPL, 2017) |
|--|--------------------------------|---|---|---|
| Escopo Temporal | | 2013 - 2050 | 2015 - 2026 | 2015 - 2025 |
| Abrangência | | <i>Economy - wide</i> | Setor de Energia | Transporte de Cargas |
| Método | | Modelo de Avaliação Integrada alimentado por um modelo <i>bottom-up</i> | Modelo <i>bottom-up</i> (técnico - paramétrico) | Modelo de Demanda de Transporte (quatro etapas) |
| Cenários | | 3 Cenários: Referência, Baixo Carbono, Baixo Carbono com Inovação | Cenário-base e cenários <i>what-if</i> de algumas variáveis específicas | 3 Cenários: Rede Básica, Rede PNL, Rede PNL* |
| Movimentação (tku) | Modo de transporte | X | - | X |
| | Tipo de mercadoria | - | - | X |
| | Localização no território | - | - | X |
| Consumo de energia (tep) | Modo de transporte | X | - | - |
| | Tipo de transporte (carga pax) | - | - | - |
| | Fonte energética | X | X | - |
| Emissões GEE (tCO ₂ , tCO _{2e}) | Modo de transporte | X | - | X |
| | Tipo de transporte (carga pax) | - | - | X |
| | Fonte energética | X | X | - |

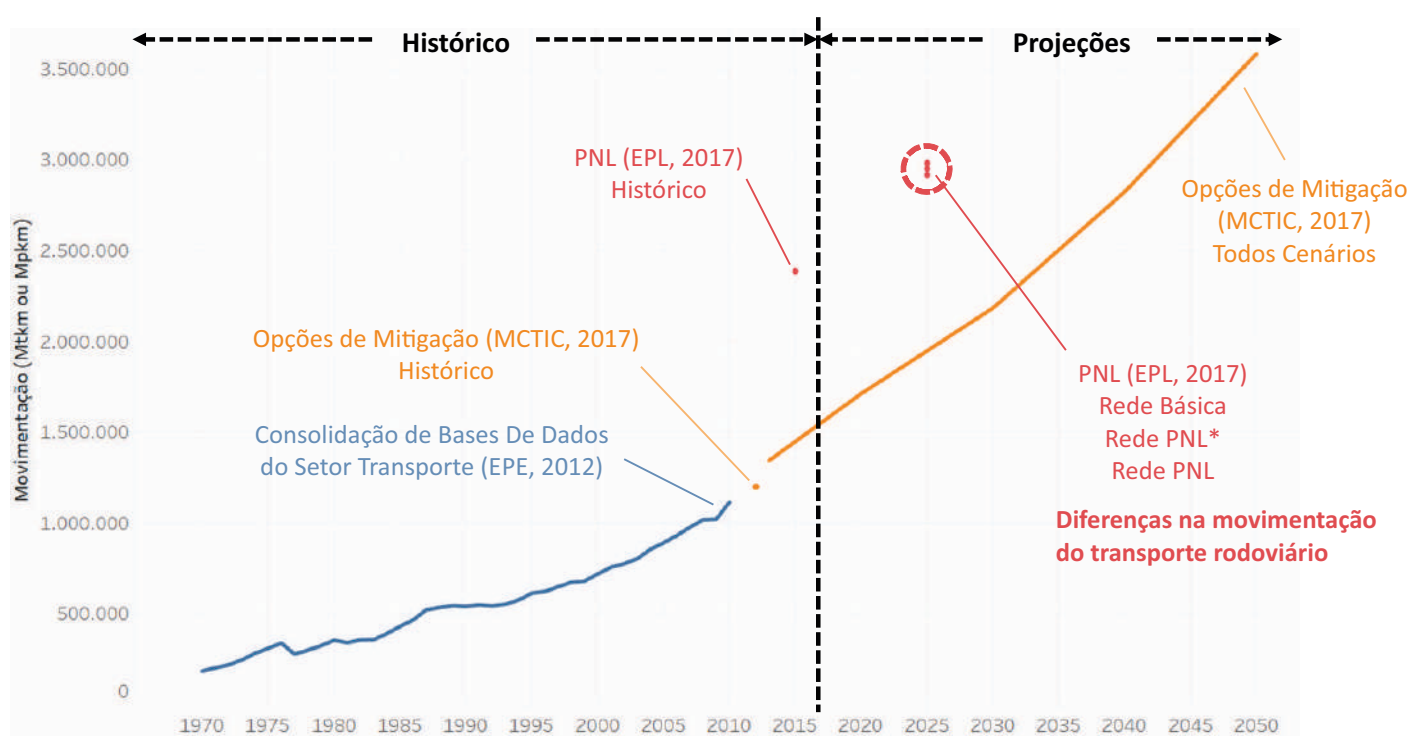
ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

- Os modelos *bottom-up* projetam a demanda de energia com base em outros *drivers* de atividade selecionados. No setor de transportes, em geral, esses *drivers* são (i) vendas de veículos novos ou (ii) movimentação – tkm | pkm.
- Opções de Mitigação e PDE empregam como driver do transporte rodoviário é a venda de veículos novos, mas os dois modelos estimam dados de movimentação aplicando fatores de ocupação dos veículos. No Opções de Mitigação, a projeção de vendas de veículos novos sofre ainda interferência das projeções de toneladas a serem transportadas pelo modo rodoviário, provenientes do modelo de

equilíbrio geral computável (influência macroeconômica).

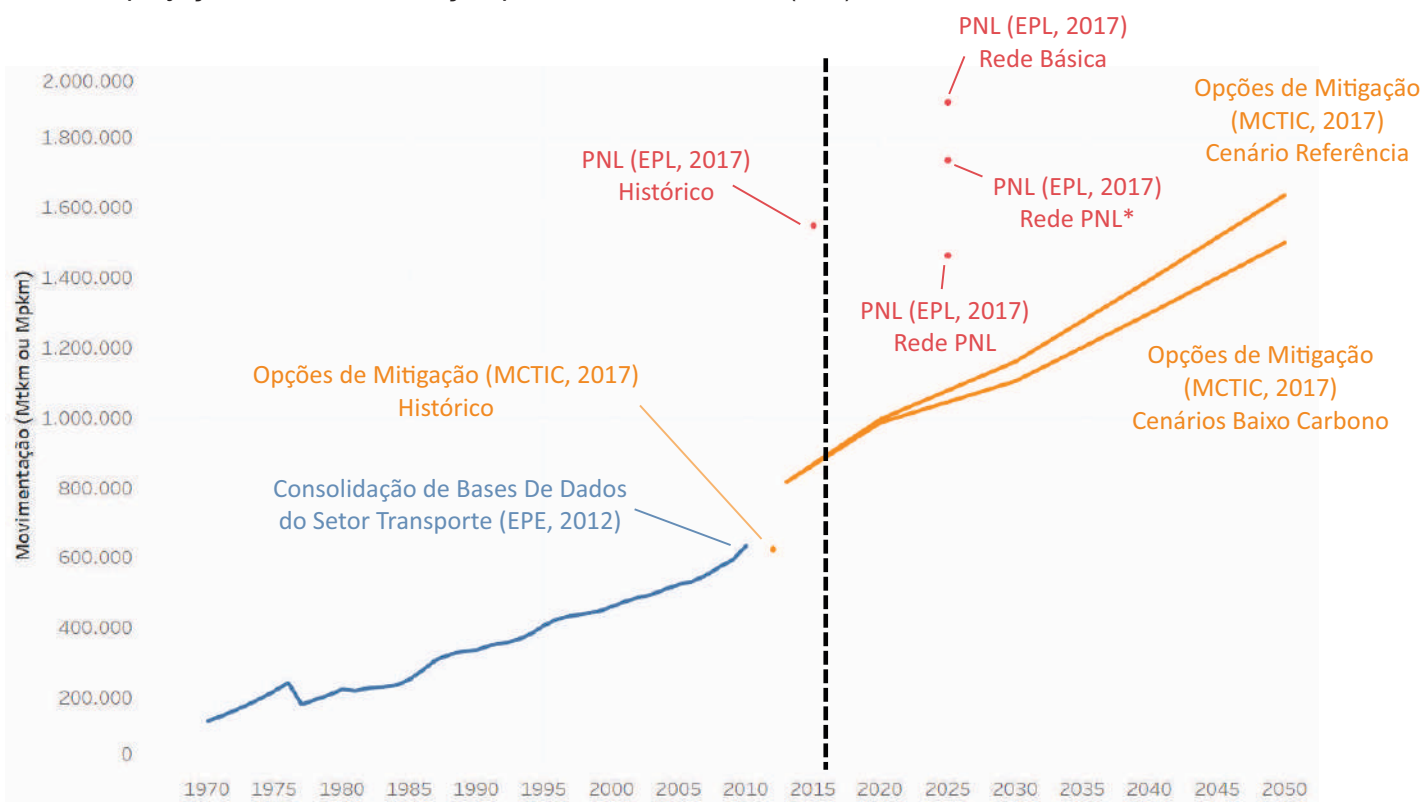
- Para o modo ferroviário, o principal *driver* do Opções de Mitigação é a projeção da frota de vagões e do percurso médio por concessionária, baseada em dados da ANTT. Embora a metodologia do PDE não seja documentada em uma publicação, apresentações da EPE apontam para uma metodologia semelhante.
- No caso do modo aquaviário (hidrovias e cabotagem), o *driver* do Opções de Mitigação é a projeção da carga a ser transportada por esse modo, baseada em dados da ANTAQ. O PDE, aparentemente, realiza modelagem similar.

Para todos os modos de transporte (tkm).

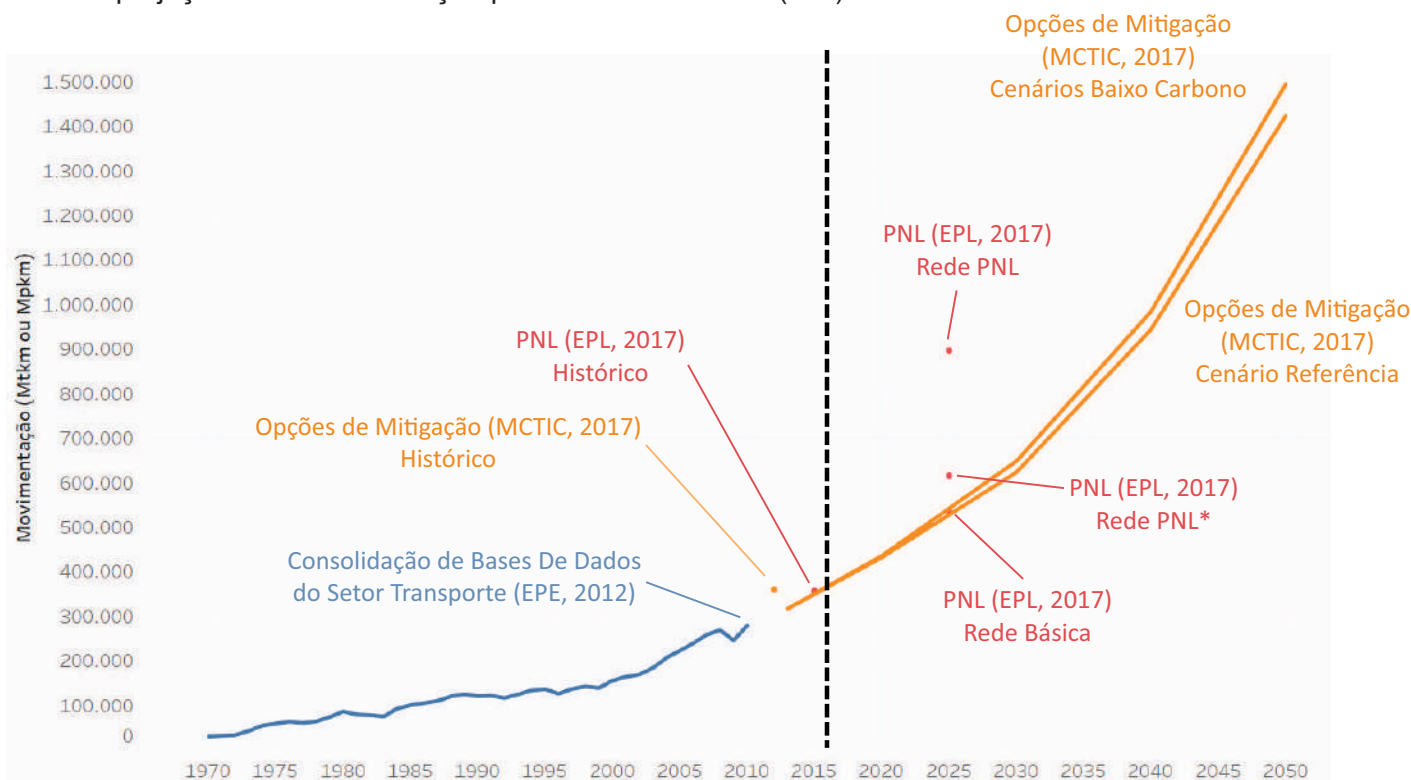


ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Histórico e projeções de movimentação para modo rodoviário (tkm)

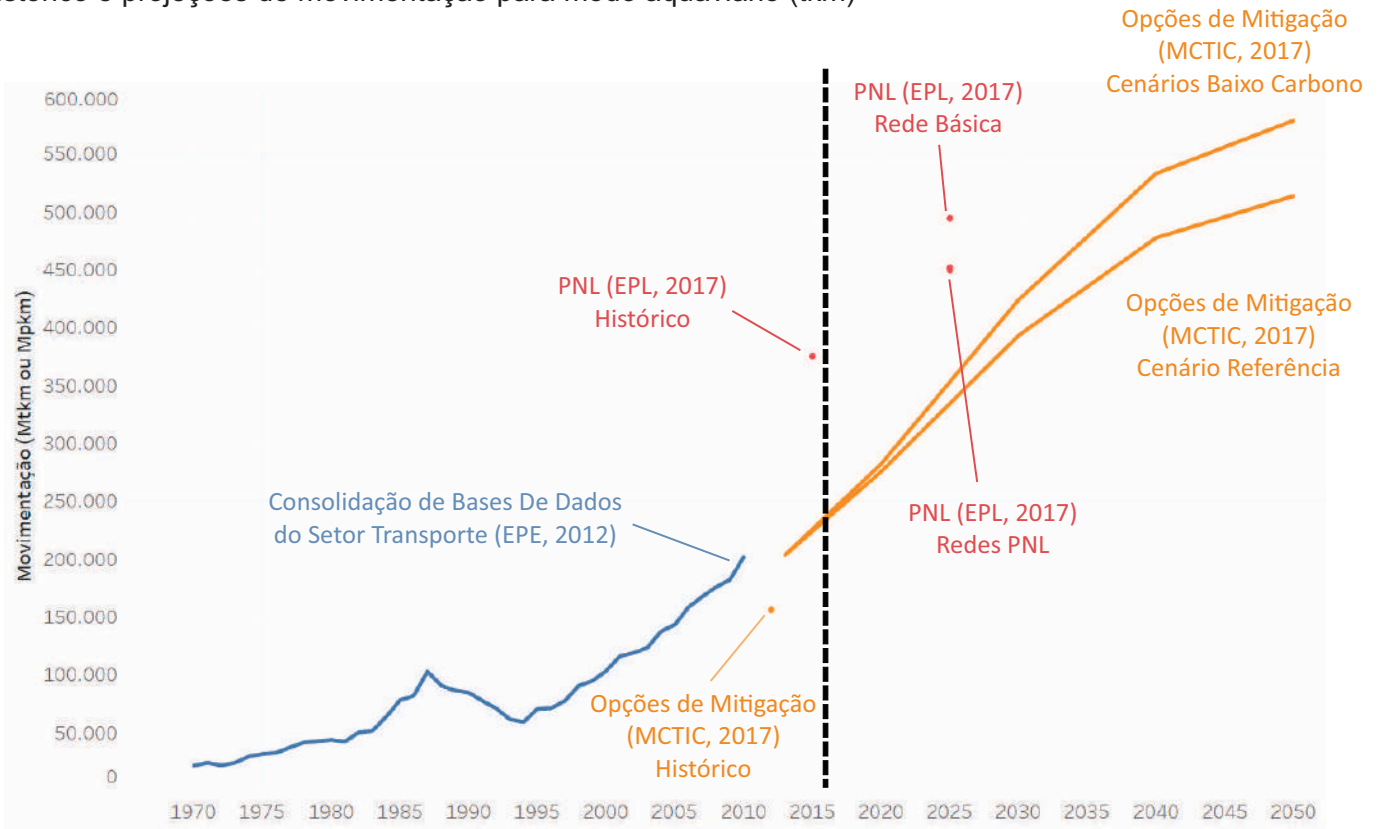


Histórico e projeções de movimentação para modo ferroviário (tkm)

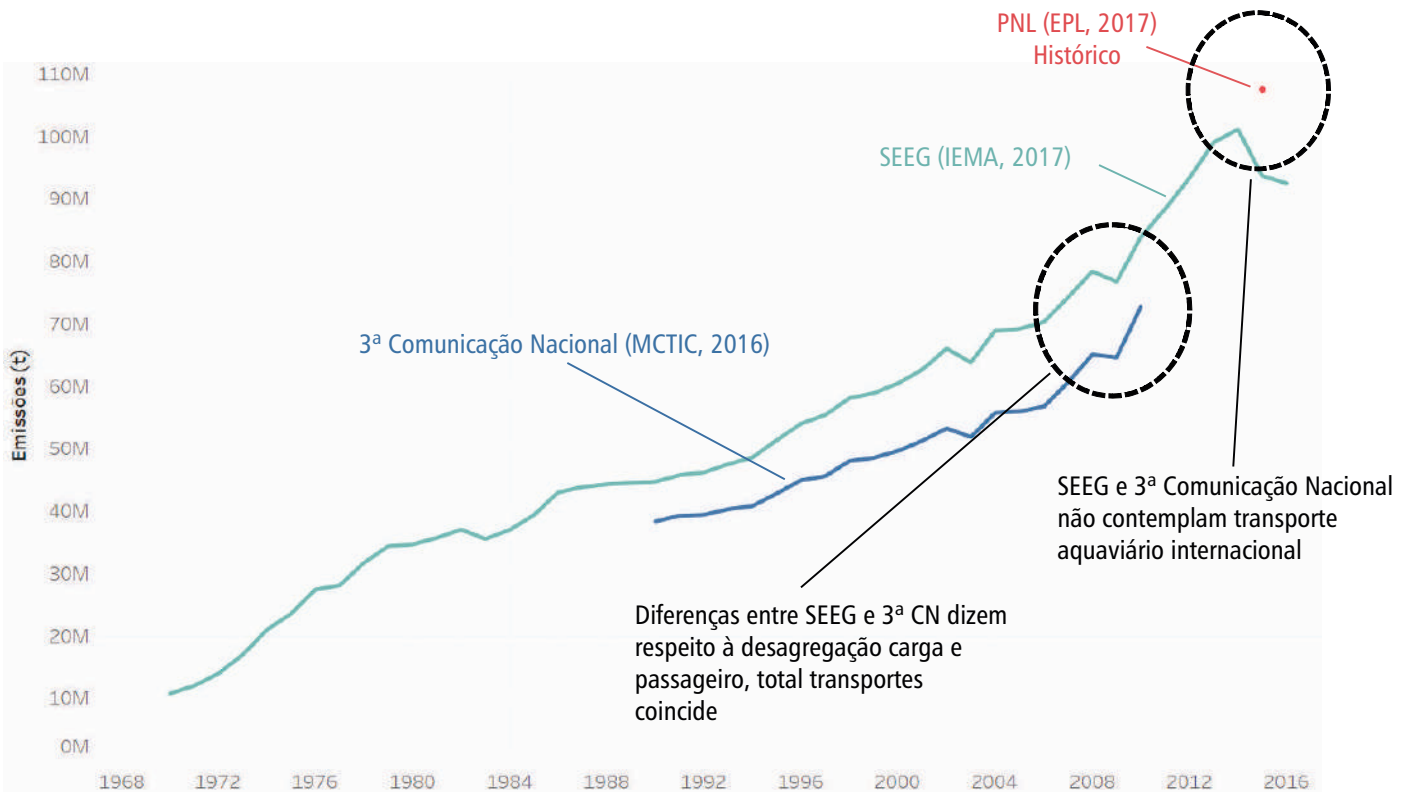


ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Histórico e projeções de movimentação para modo aquaviário (tkm)

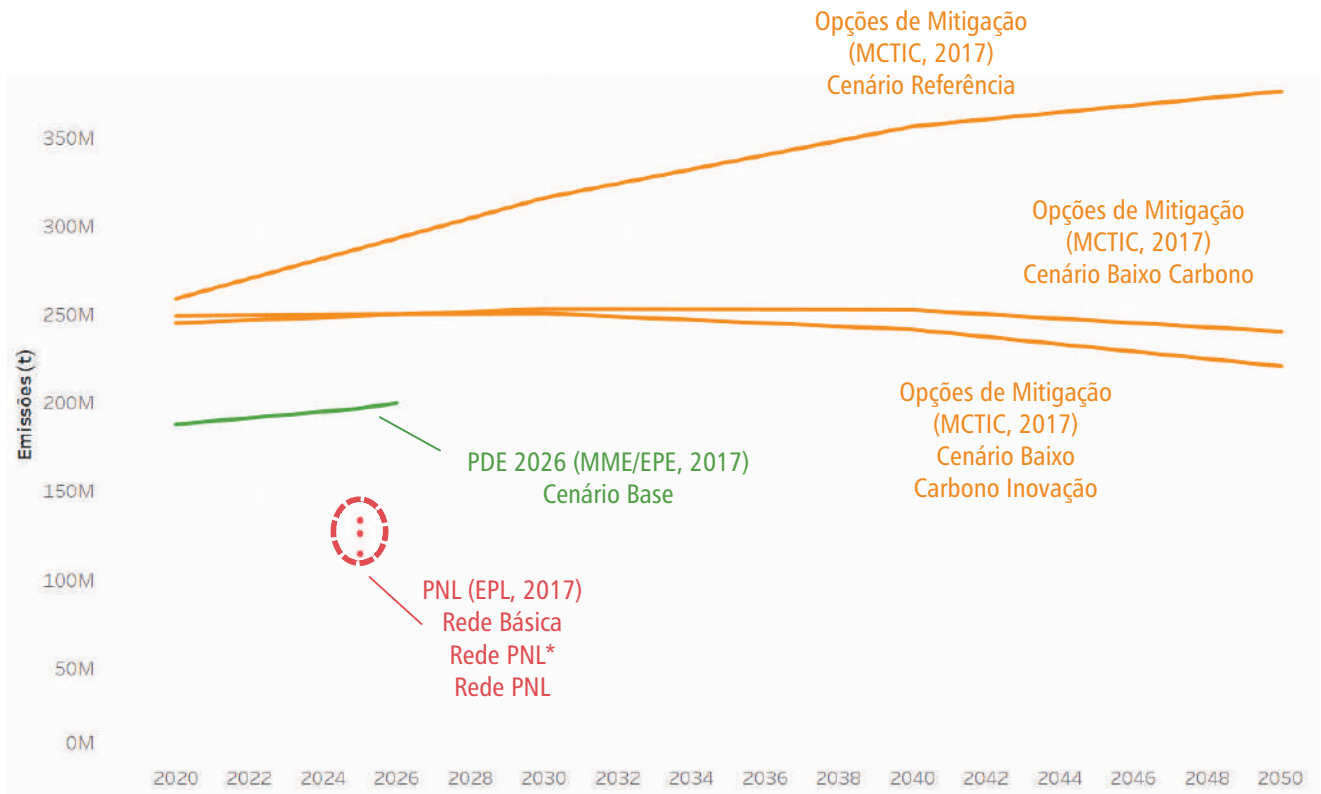


Histórico de emissões de GEE no transporte de cargas (tCO2e ou tCO2)

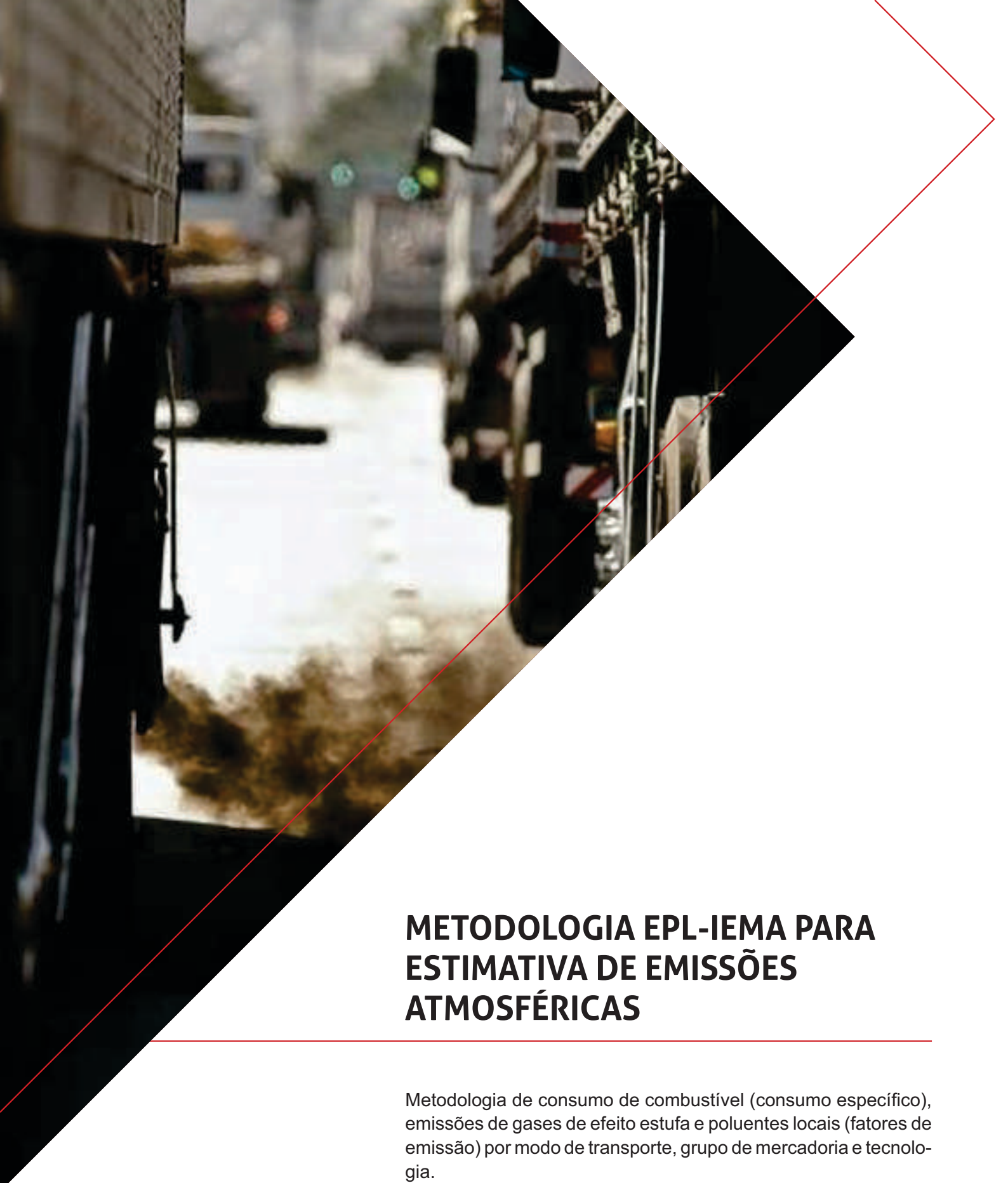


ANÁLISE COMPARATIVA COM OUTROS ESTUDOS DE REFERÊNCIA

Projeções de emissões de GEE nos transportes (tCO₂e)



Emissões apenas do transporte de cargas



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Metodologia de consumo de combustível (consumo específico), emissões de gases de efeito estufa e poluentes locais (fatores de emissão) por modo de transporte, grupo de mercadoria e tecnologia.

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

- Estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois conjuntos principais de informações:
 - i. Taxa de atividade (e.g. distância percorrida, energia consumida, carga transportada, no caso do transporte de cargas); e
 - ii. Fator de emissão: quantidade de gases emitidos por unidade da taxa de atividade (e.g. gramas por quilômetro, quilogramas por litro, etc.).
- As estimativas desenvolvidas e apresentadas neste relatório procuraram, por meio das informações de movimentação simuladas pela EPL em tku, estimar o consumo de combustível (L) e, a partir dele, estimar as emissões atmosféricas.
 - No caso do transporte rodoviário de cargas, o método empregado utilizou as informações de movimentação da EPL (tku) para estimar a quilometragem percorrida pelos veículos (vkm) e, então, estimar o consumo de combustível (L) e as emissões atmosféricas.
 - As emissões de CO₂e (dióxido de carbono equivalente) foram estimadas convertendo os demais gases por meio dos fatores de equivalência GWP (global warming potential) do quinto relatório de avaliação do IPCC (AR5). Para o metano (CH₄), o fator aplicado é 28; para o óxido nitroso (N₂O), o fator aplicado é 265.

Gases e poluentes estimados

| Poluentes e gases | | Hidroviário | Cabotagem | Ferrovário | Rodoviário |
|------------------------|---|-------------|-----------|------------|------------|
| Poluentes locais | CO (monóxido de carbono) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | NO _x (óxidos de nitrogênio) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | COVNM (compostos orgânicos voláteis não metânicos) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | MP (material particulado) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | SO _x (óxidos de enxofre) | ✓ | ✓ | ✓ | * |
| Gases de efeito estufa | CO ₂ (dióxido de carbono) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | CH ₄ (metano) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | N ₂ O (óxido nitroso) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

(*) Em Janeiro de 2012, a fase P7 do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) passou a ser adotada para os padrões de emissão de veículos pesados. Essa fase também reduziu expressivamente a concentração de enxofre no combustível (10 ppm) e, conseqüentemente,

reduziu as emissões atmosféricas de SO_x. Dessa forma, o PROCONVE não estabelece limites de emissão de SO_x para veículos pesados rodoviários e este trabalho não estimou essas emissões para esse modo de transporte (Resumo PROCONVE MMA).

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Método geral de estimativa de consumo energético

- O método pode ser descrito, de forma simplificada, por meio da seguinte equação geral, aplicada para cada modo de transporte:

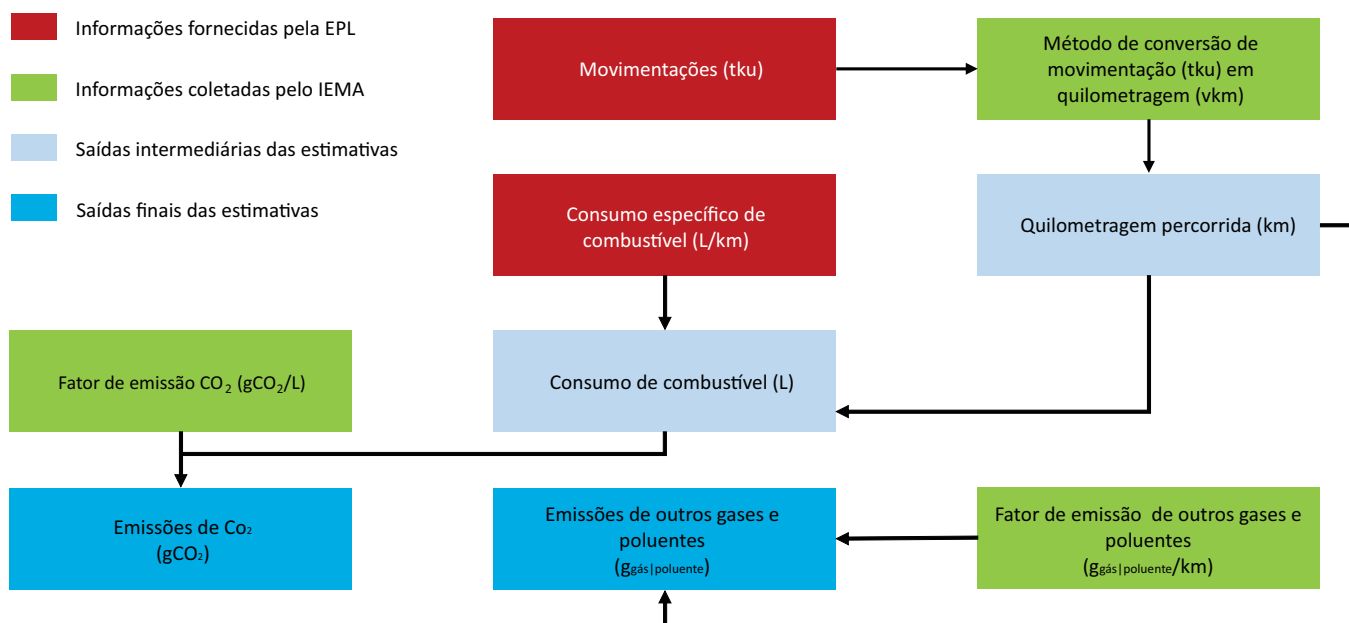
| Escolha da taxa de atividade | | Consumo = | Taxa de Atividade X | Consumo Específico |
|---|--------------------------|-----------|---------------------|--------------------|
| Rodoviário | Quilometragem percorrida | L | km | L/km |
| Ferroviário Hidroviário Cabotagem | Movimentação | L | tku | L/tku |

Método geral de estimativa de emissões atmosféricas

- O método pode ser descrito, de forma simplificada, por meio da seguinte equação geral, aplicada para cada modo de transporte:

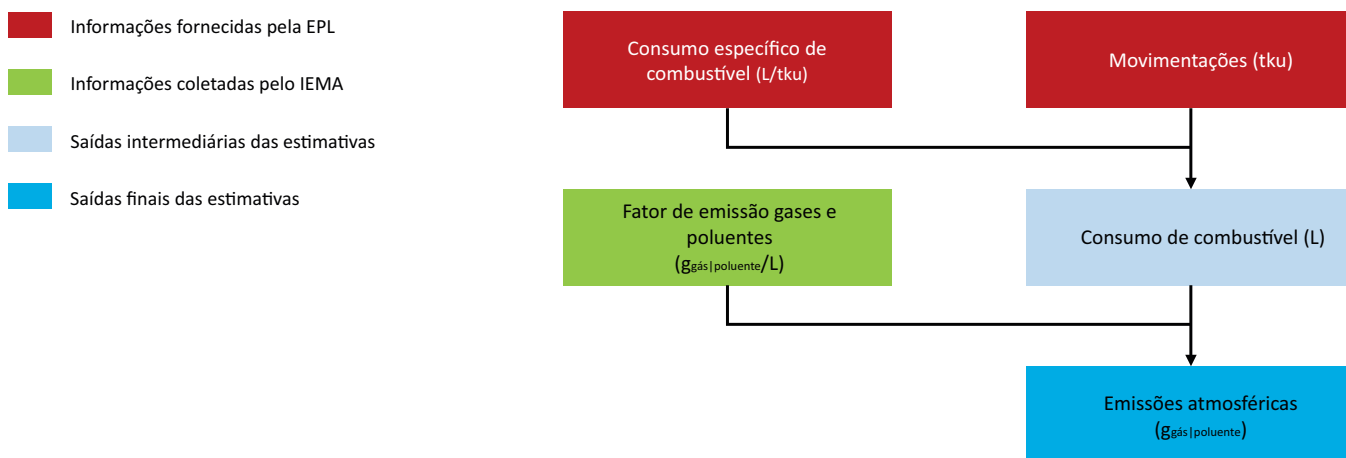
| Escolha da taxa de atividade | | Consumo = | Taxa de Atividade X | Consumo Específico |
|--|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Rodoviário (CO ₂) Ferroviário Hidroviário Cabotagem | Consumo de combustível | g _{gás poluente} | L | g _{gás poluente} /L |
| Rodoviário (Outras emissões) | Quilometragem percorrida | g _{gás poluente} | km | g _{gás poluente} /L |

Método geral das estimativas: Rodoviário



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Método geral das estimativas: Outros modos

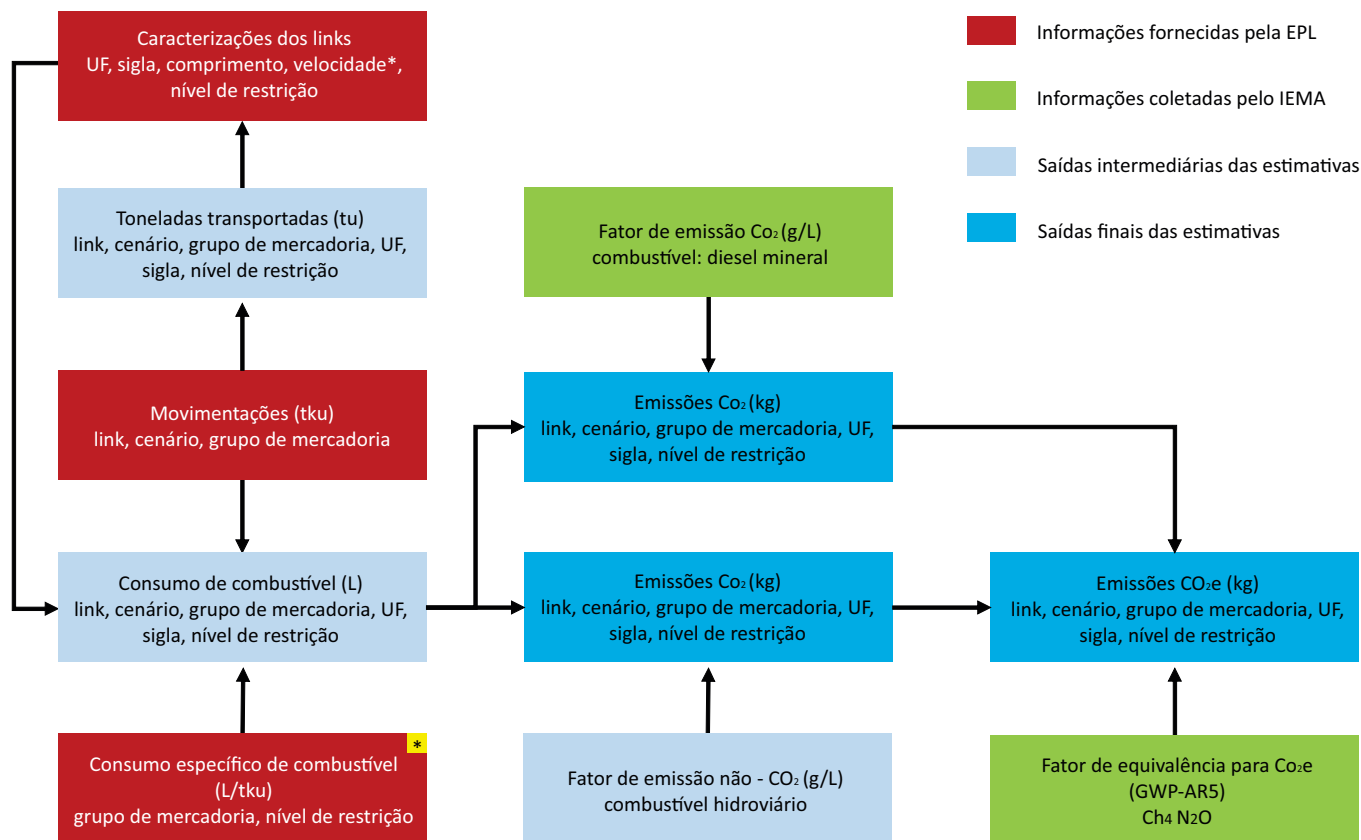


Fontes de informação empregadas

| Variável | Unidade | Modo de transporte | Fonte de informação |
|--------------------------------------|--|------------------------|---|
| A. Movimentação | tku | Todos os modos | EPL |
| B. Consumo específico de combustível | L/tku | Aquaviário (hidrovias) | EPL |
| | | Aquaviário (cabotagem) | |
| | L/km | Ferroviário | Elaboração própria a partir de informações disponibilizadas pela EPL e pela ANTT |
| C. Fator de emissão | g _{CO2} /L g _{não-CO2} /L | Aquaviário (hidrovias) | 3ª Comunicação Nacional (MCTIC, 2014), Balanço Energético Nacional (MME/EPE, 2018), Resoluções ANP e CNPE e Agência Ambiental Europeia. |
| | | Aquaviário (cabotagem) | |
| | | Ferroviário | |
| | g _{CO2} /L | Rodoviário | 3ª Comunicação Nacional (MCTIC, 2014), Balanço Energético Nacional (MME/EPE, 2018) e Resolução CNPE |
| | g _{não-CO2} /km | | Inventário Rodoviário (MMA, 2014) |
| | GWP | Todos os modos | IPCC |

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

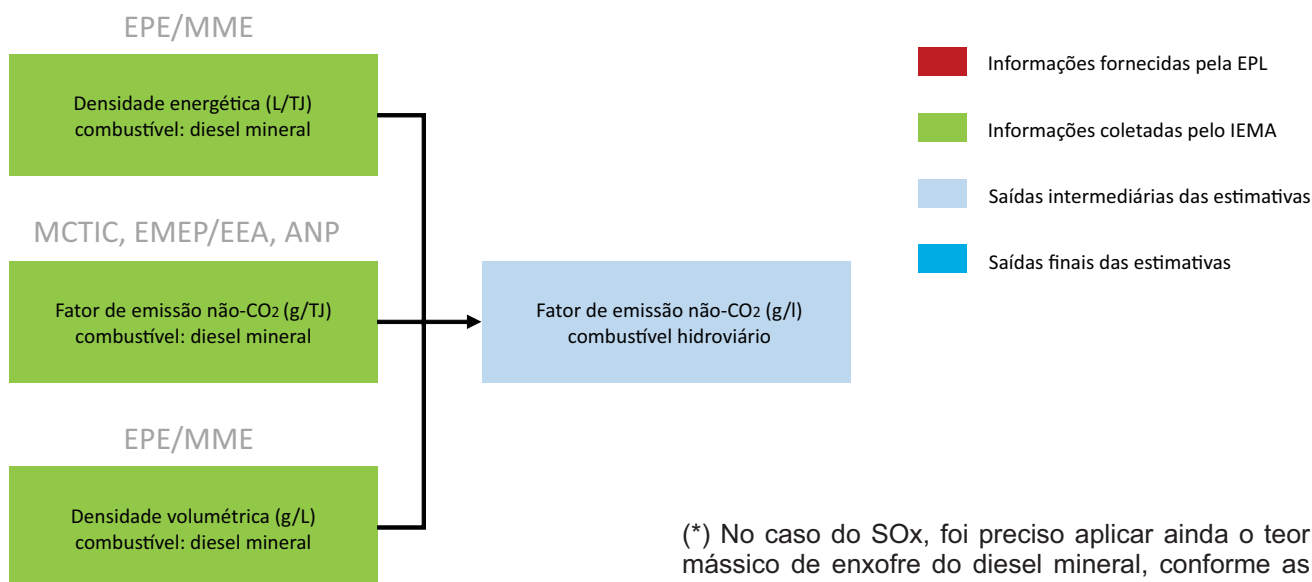
Hidroviário: estimativa de emissões



(*) No caso do consumo específico do transporte de carga geral (CG), considerou-se, a partir das informações da EPL, que 56,4% desse grupo de mercadoria foi transportado como carga geral

containerizada (CGC) e que os 43,6% restantes foram transportados como carga geral não containerizada (CGNC).

Hidroviário: fatores de emissão não-CO₂

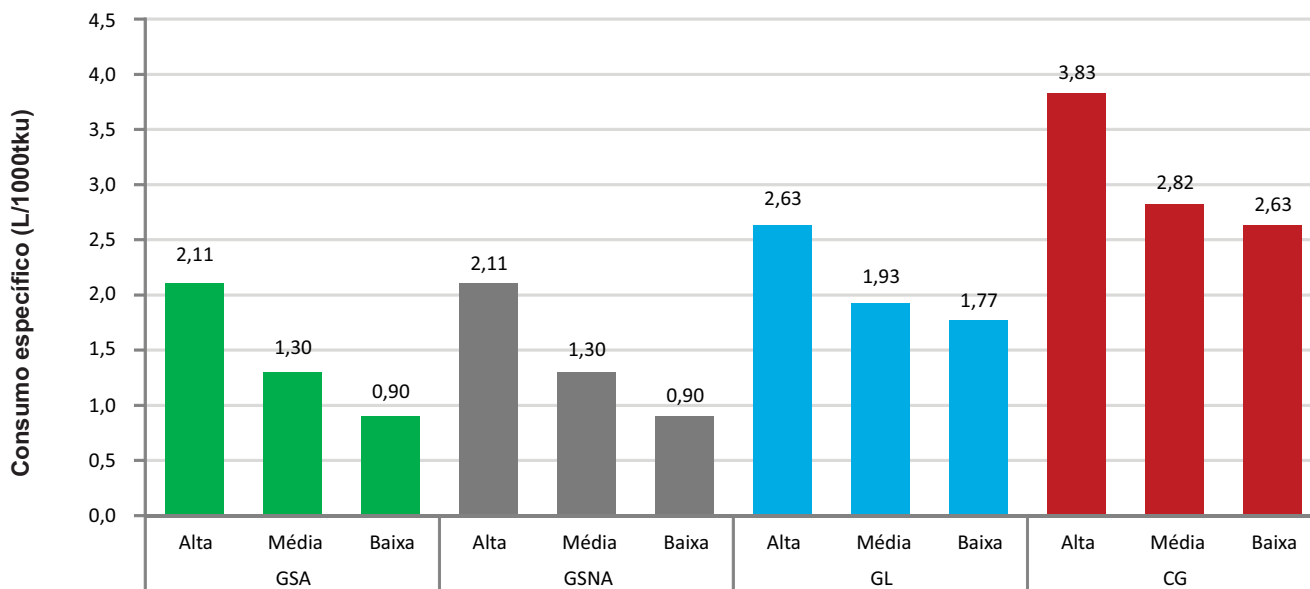


(*) No caso do SO_x, foi preciso aplicar ainda o teor mássico de enxofre do diesel mineral, conforme as resoluções da ANP: 0,5% durante todo o período.

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

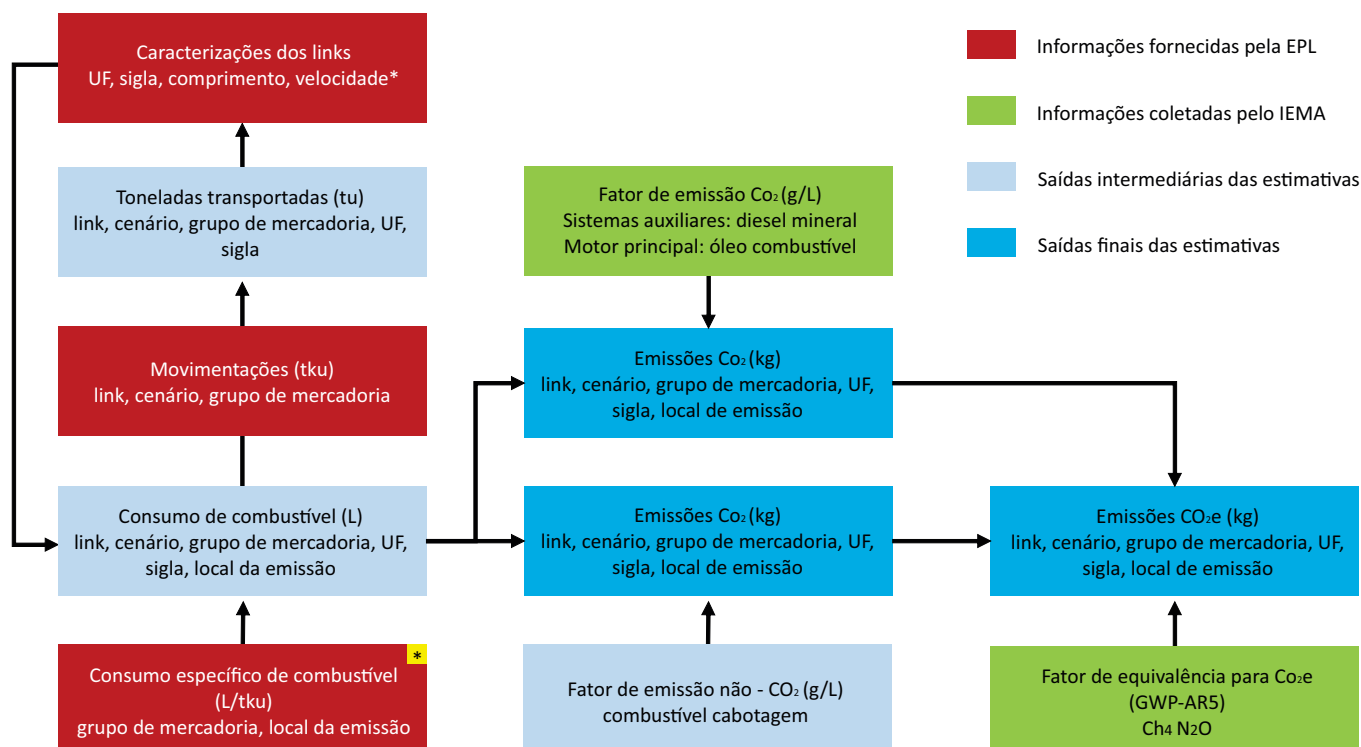
Hidroviário: Consumo Específico de Combustível

Levantamento EPL: grupo de mercadoria e restrição hidroviária



(*) Os fatores de consumo de combustíveis foram calculados pela EPL.

Cabotagem: estimativa de emissões

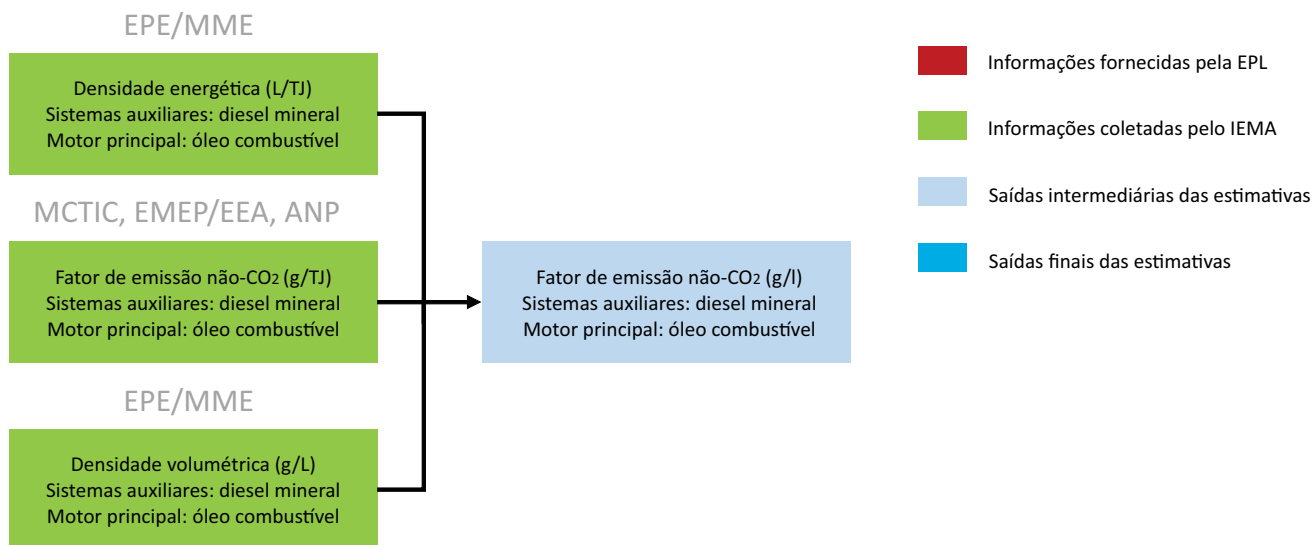


(*) No caso do consumo específico do transporte de carga geral (CG), considerou-se, a partir das informações da EPL, que 64,3% desse grupo de mercadoria foi transportado como carga geral

containerizada (CGC) e que os 35,7% restantes foram transportados como carga geral não containerizada (CGNC).

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Cabotagem: fatores de emissão

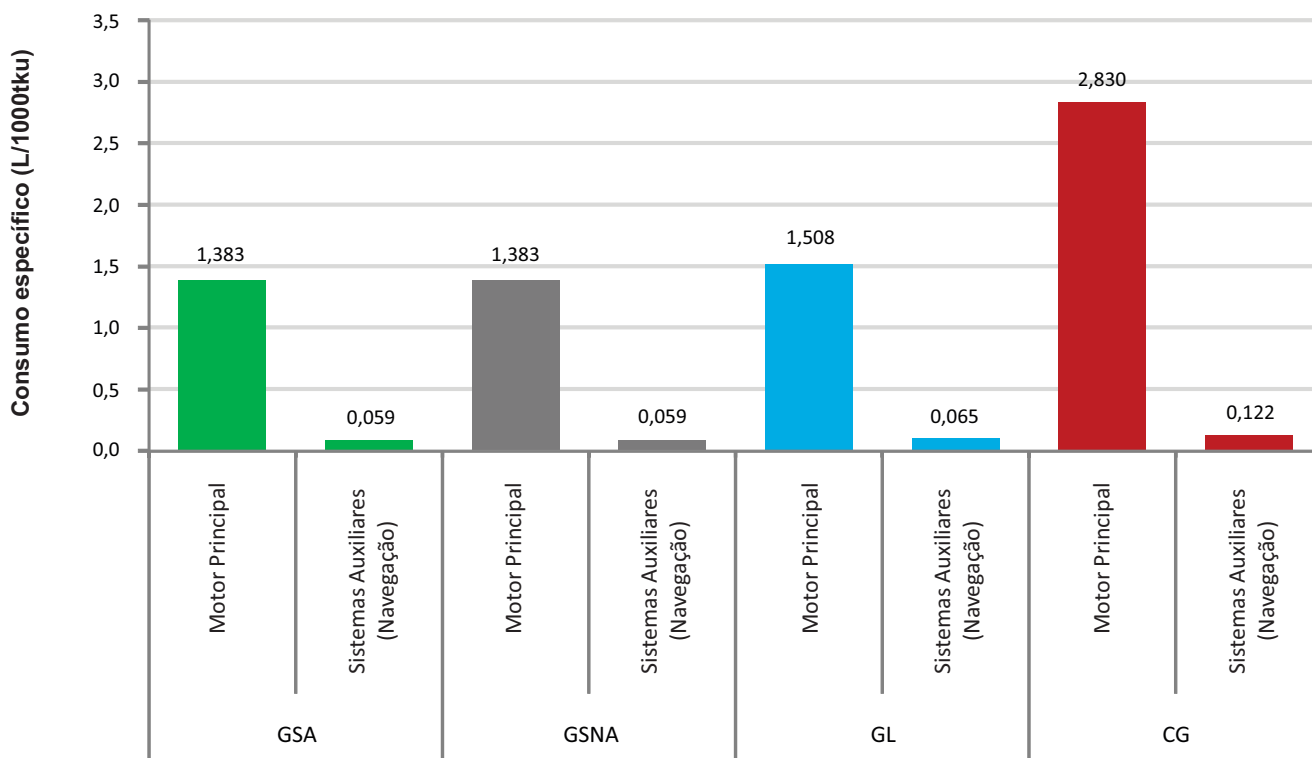


No caso do SO_x, foi preciso aplicar ainda o teor mássico de enxofre dos combustíveis: Diesel mineral nos Sistemas Auxiliares, conforme as resoluções da

ANP: 0,5% durante todo o período. Óleo combustível no Motor Principal, conforme as resoluções da ANP: 3,5% em 2015 e 0,5% no cenário 2025.

Cabotagem: Consumo Específico de Combustível

Levantamento EPL: grupo de mercadoria e local da emissão

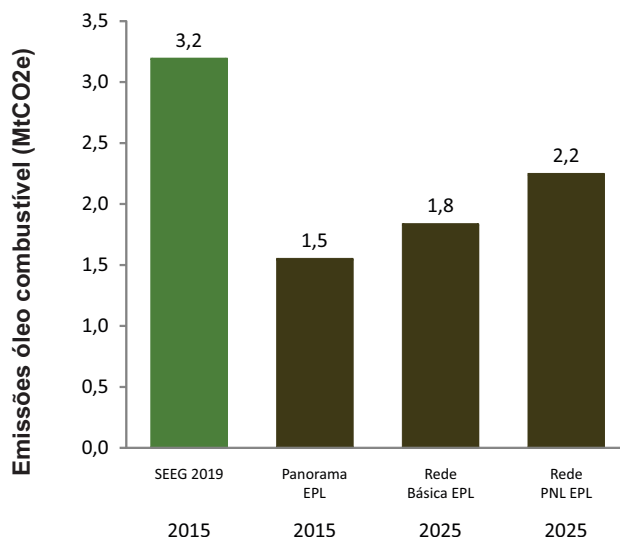
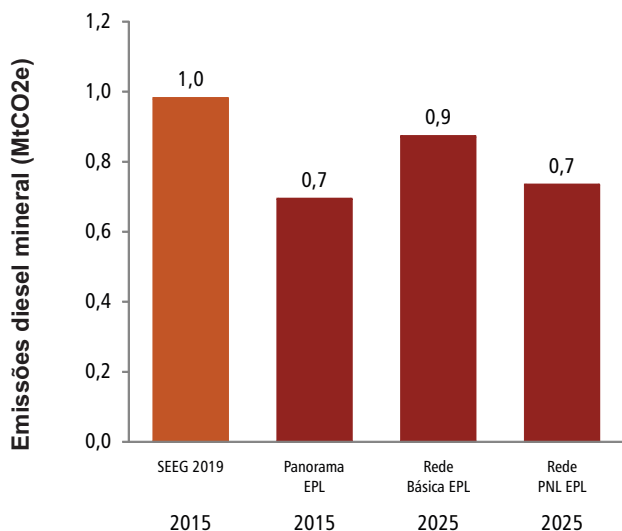
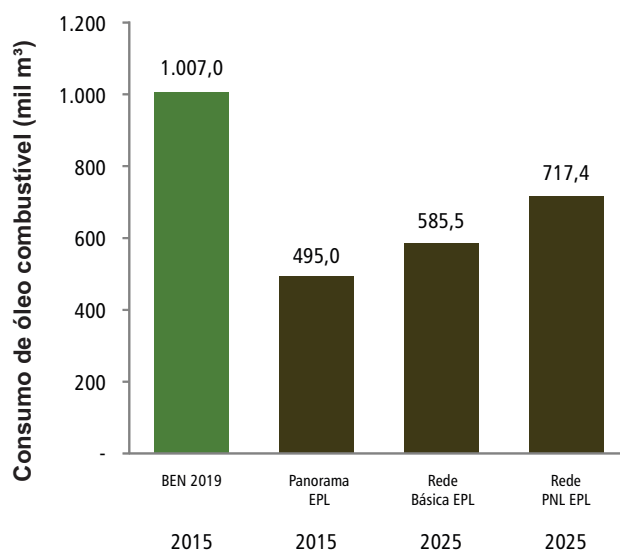
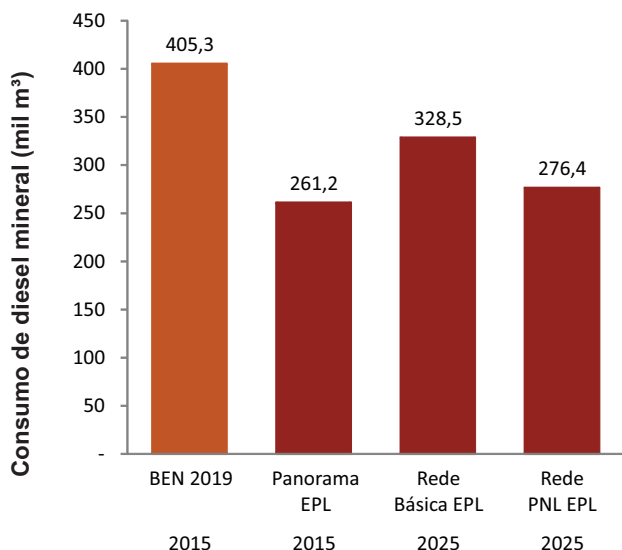


(*) Os fatores de consumo de combustíveis foram calculados pela EPL.

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Aquaviário: BEN e SEEG

Comparações consumo e emissões (2015)



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferroviário: Consumo Específico de Combustível

Ferroviário: duas abordagens foram usadas para o levantamento das informações de consumo específico de combustível (L/tku).

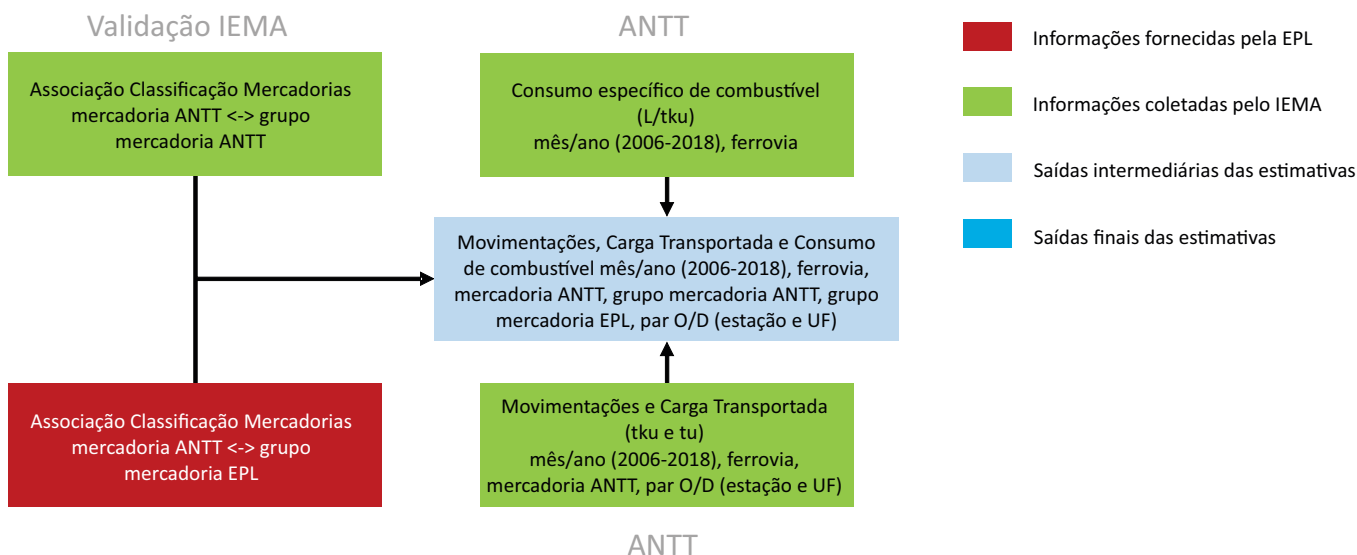
- Movimentações classificadas, na base da EPL, por concessionária regulada pela ANTT.
- Movimentações não classificadas, na base da EPL, por concessionária regulada pela ANTT.

Quando possível, o consumo de combustível foi estimado por meio dos parâmetros levantados na abordagem (i). No caso da movimentação não

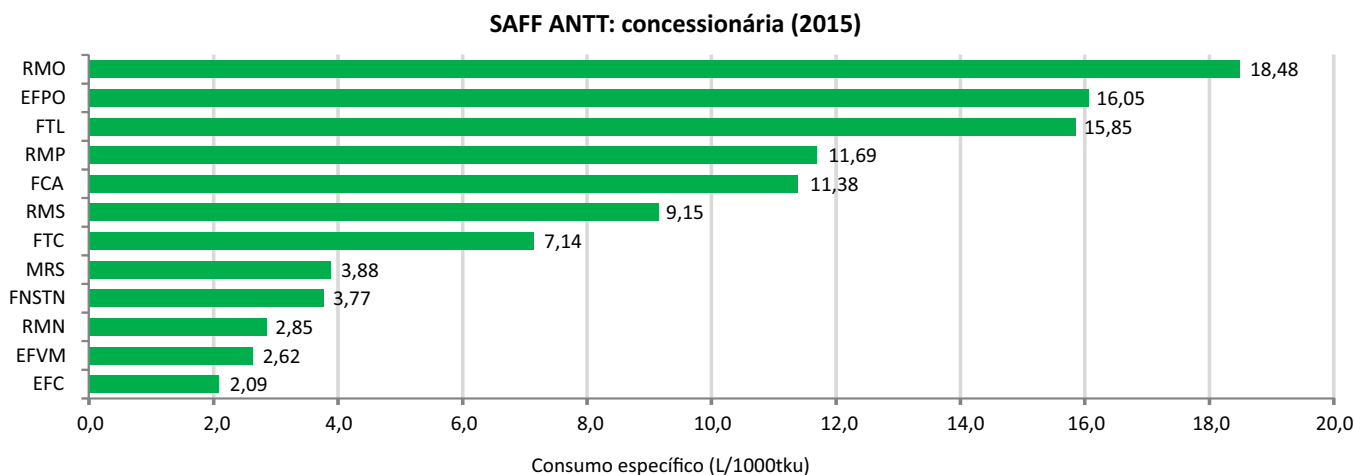
estar classificada de acordo com a concessionária, então, foram aplicados os parâmetros obtidos na abordagem (ii).

A principal fonte de informações foi o Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário (SAFF) da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Os dados consolidados do SAFF para 2015 estão disponíveis na página do Anuário Estatístico da ANTT: http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html

Ferroviário: Anuário Estatístico ANTT 2019



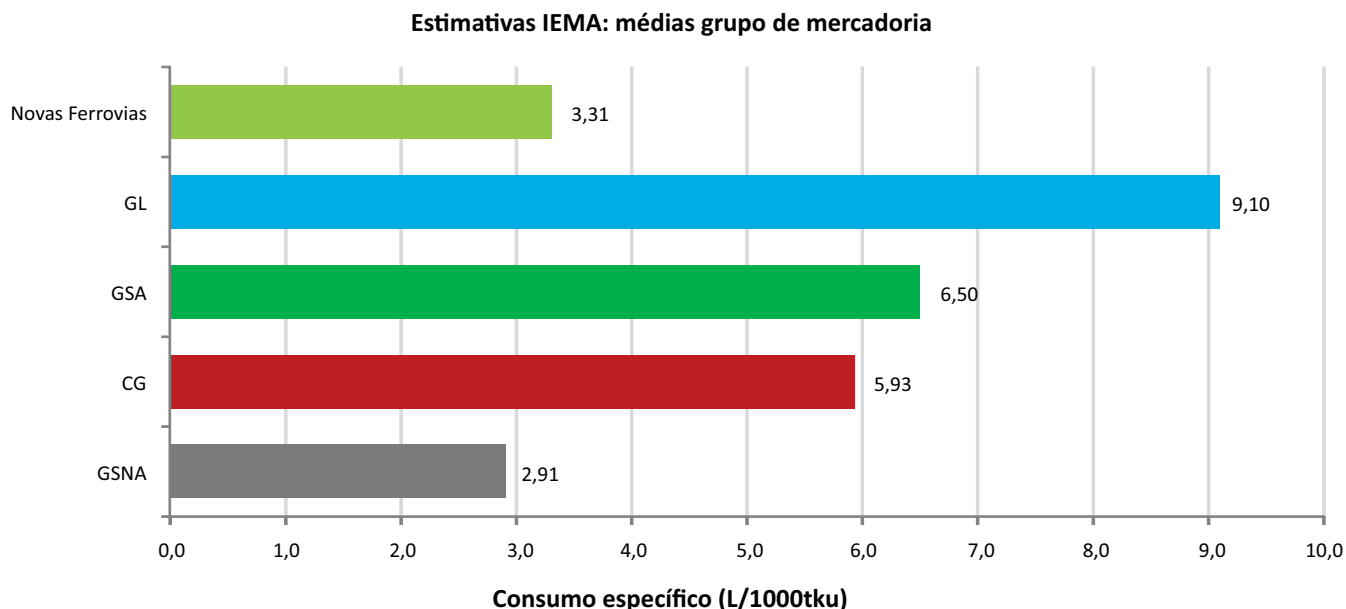
Ferroviário: Consumo Específico de Combustível



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferrovário: Consumo Específico de Combustível

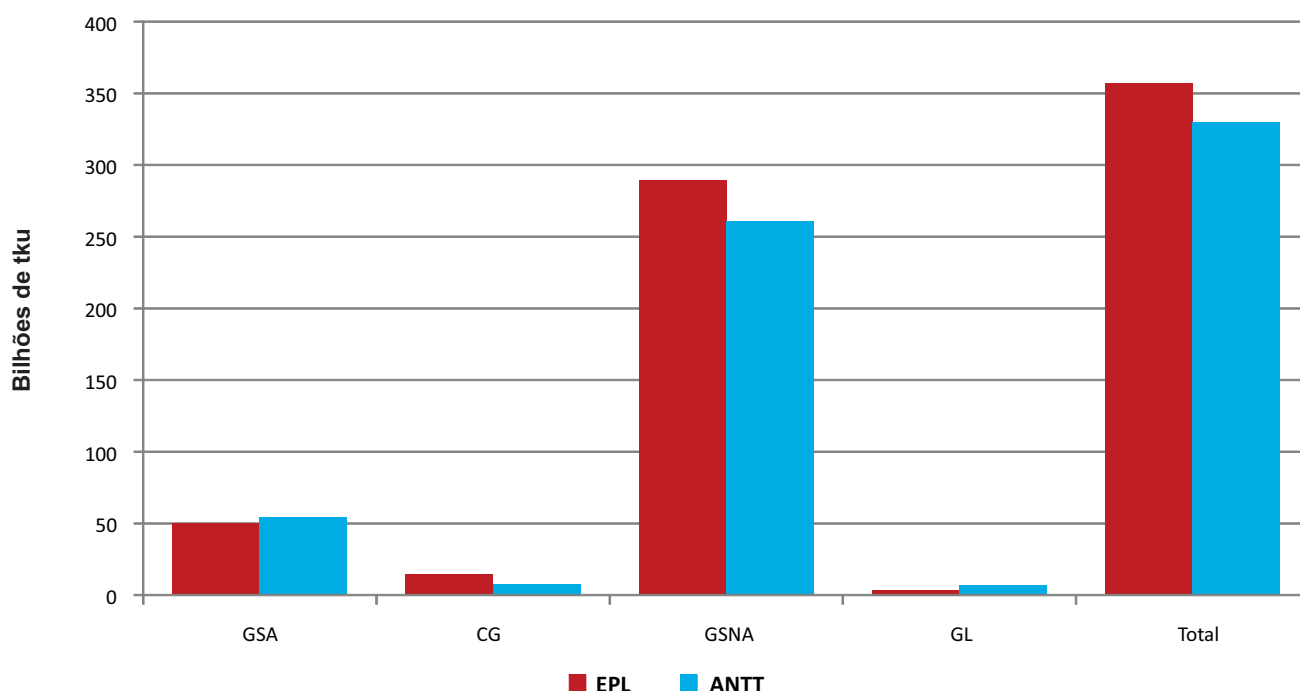
Movimentações não classificadas, na base da EPL, por concessionária regulada pela ANTT.



Novas ferrovias: média entre os consumos específicos da FNSTN e da MRS, conforme recomendação da EPL.

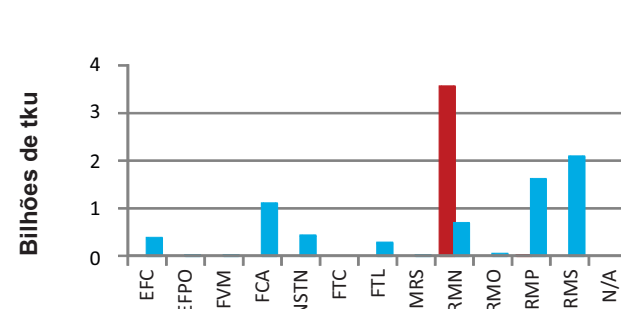
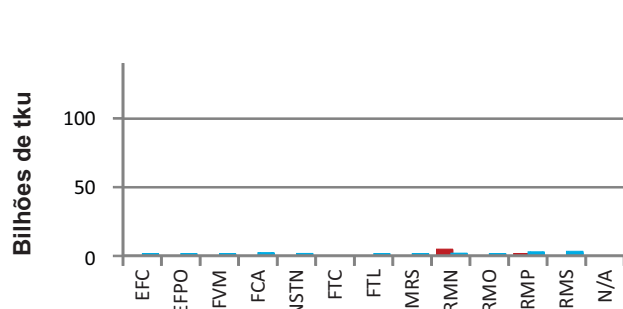
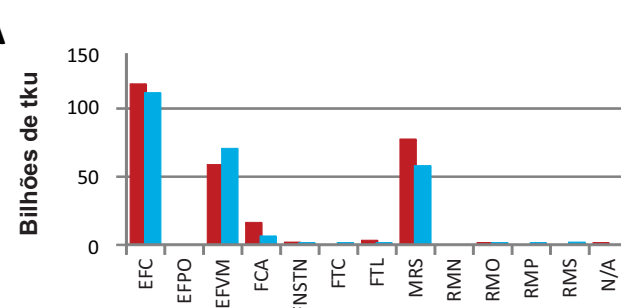
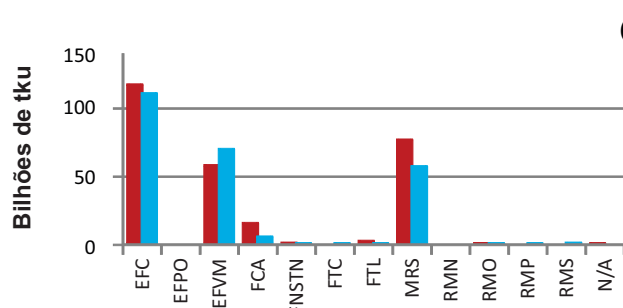
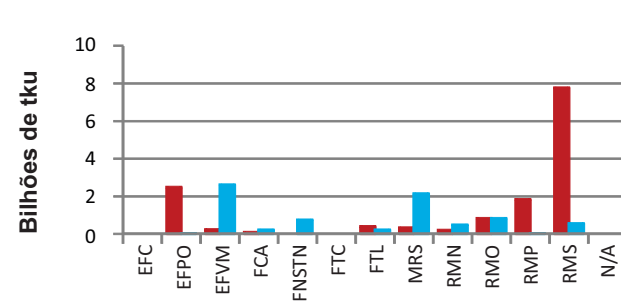
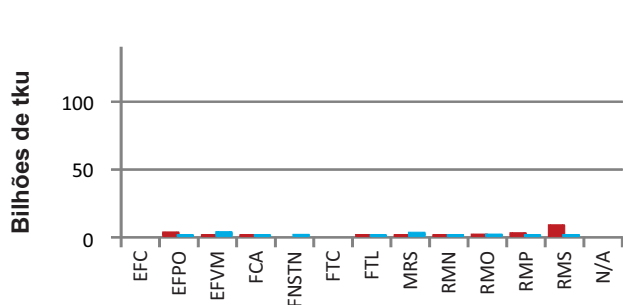
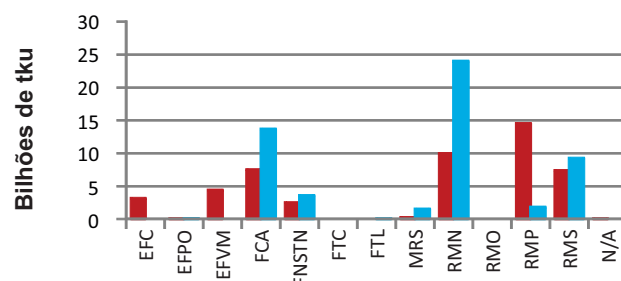
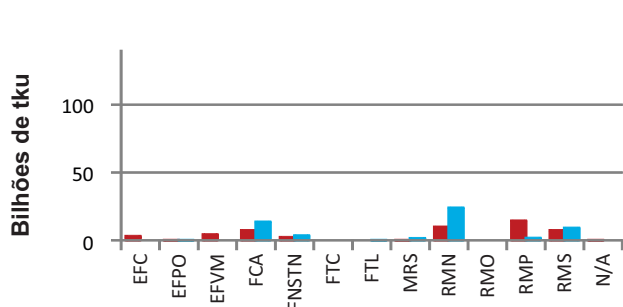
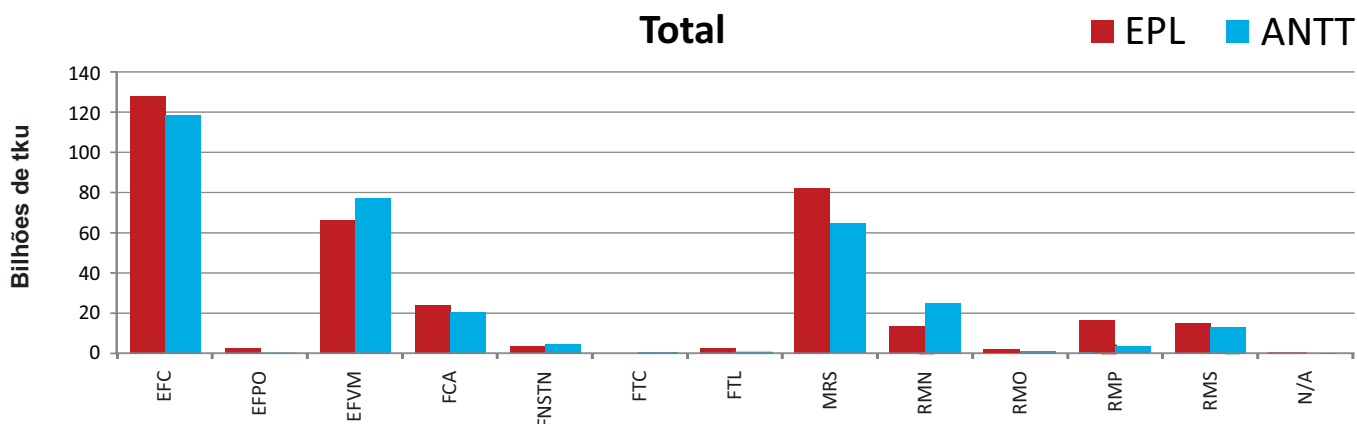
Outros links*: consumos específicos médios para cada grupo de mercadoria (razão entre dados de movimentações e consumo de combustível da ANTT em 2015 por grupo de mercadoria).

Ferrovário: Anuário Estatístico ANTT 2019 Comparações tku (2015)



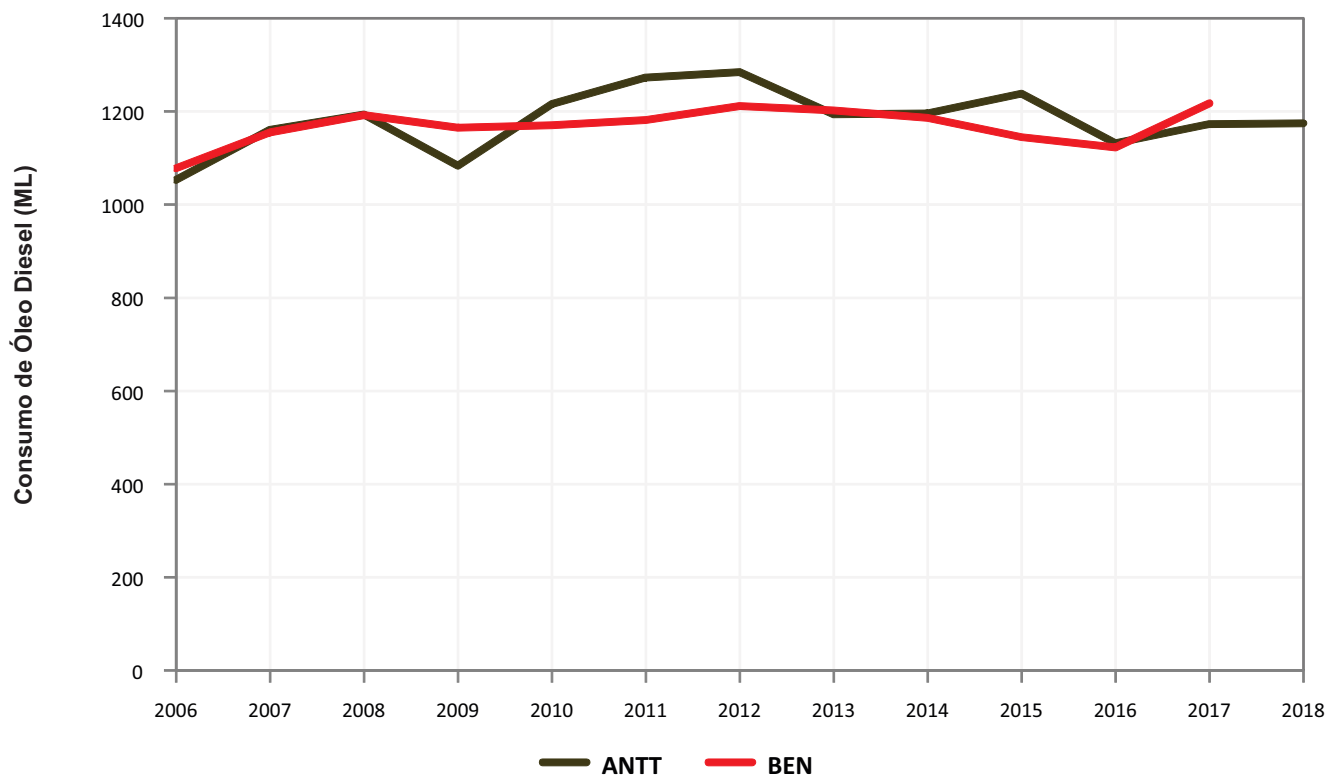
METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferroviário: Anuário Estatístico ANTT 2019 Comparações tku (2015)

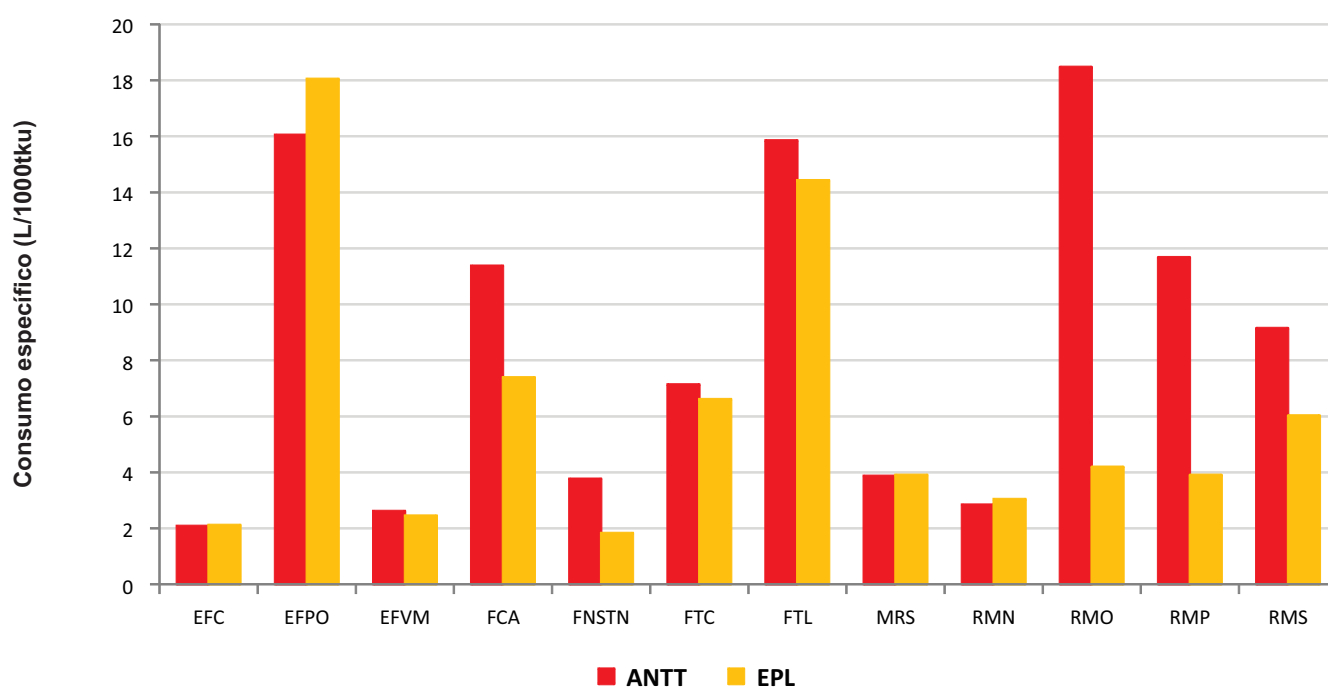


METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferrovário: Anuário Estatístico ANTT 2019 Comparações Consumo (evolução histórica)

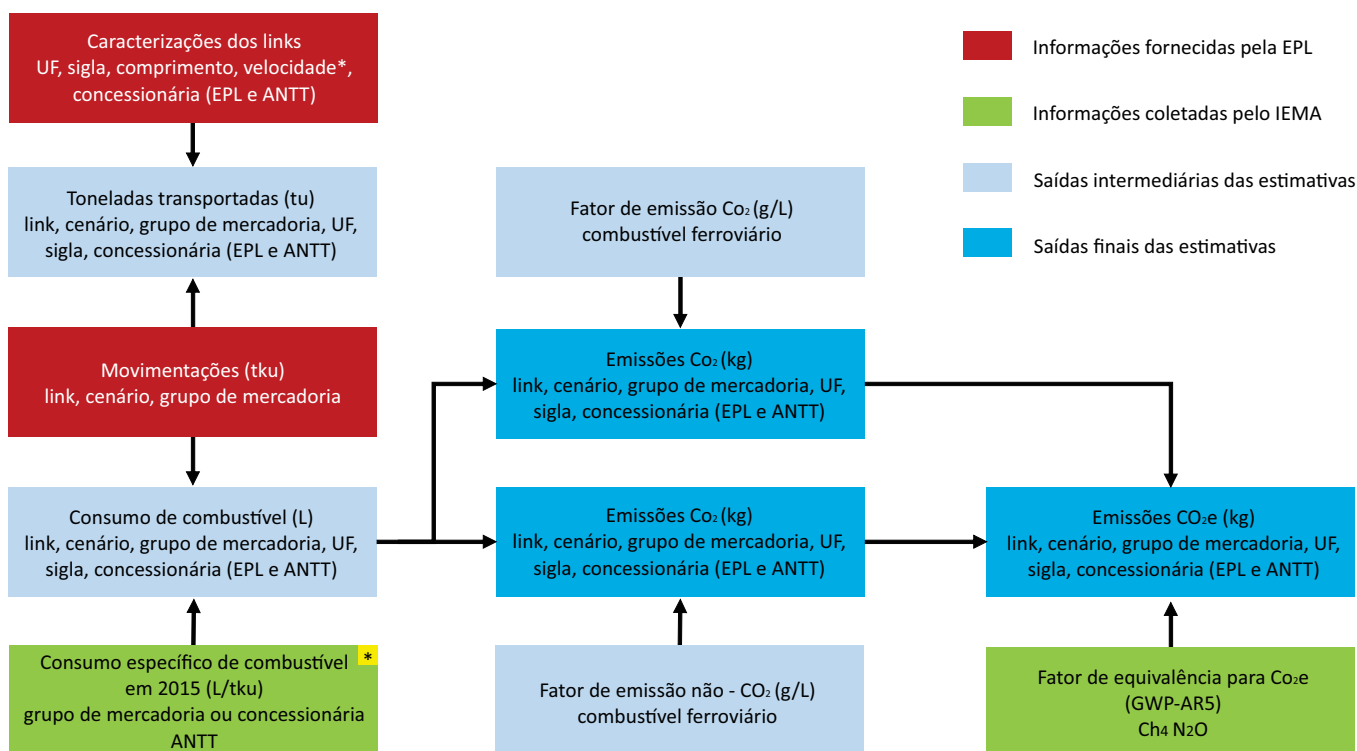


Ferrovário: Anuário Estatístico ANTT 2019 Comparações Consumo Específico 2015

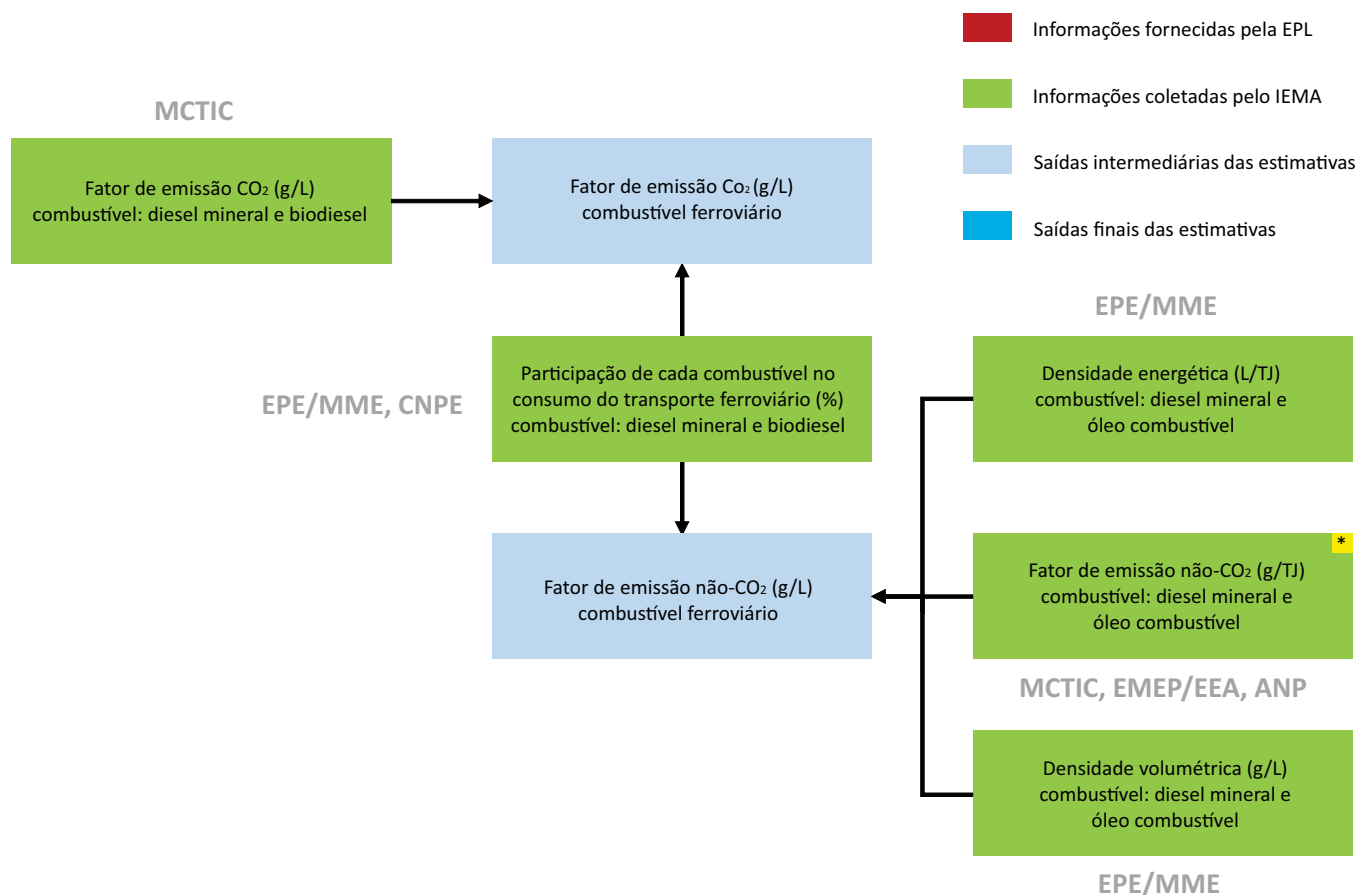


METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferroviário: estimativa de emissões

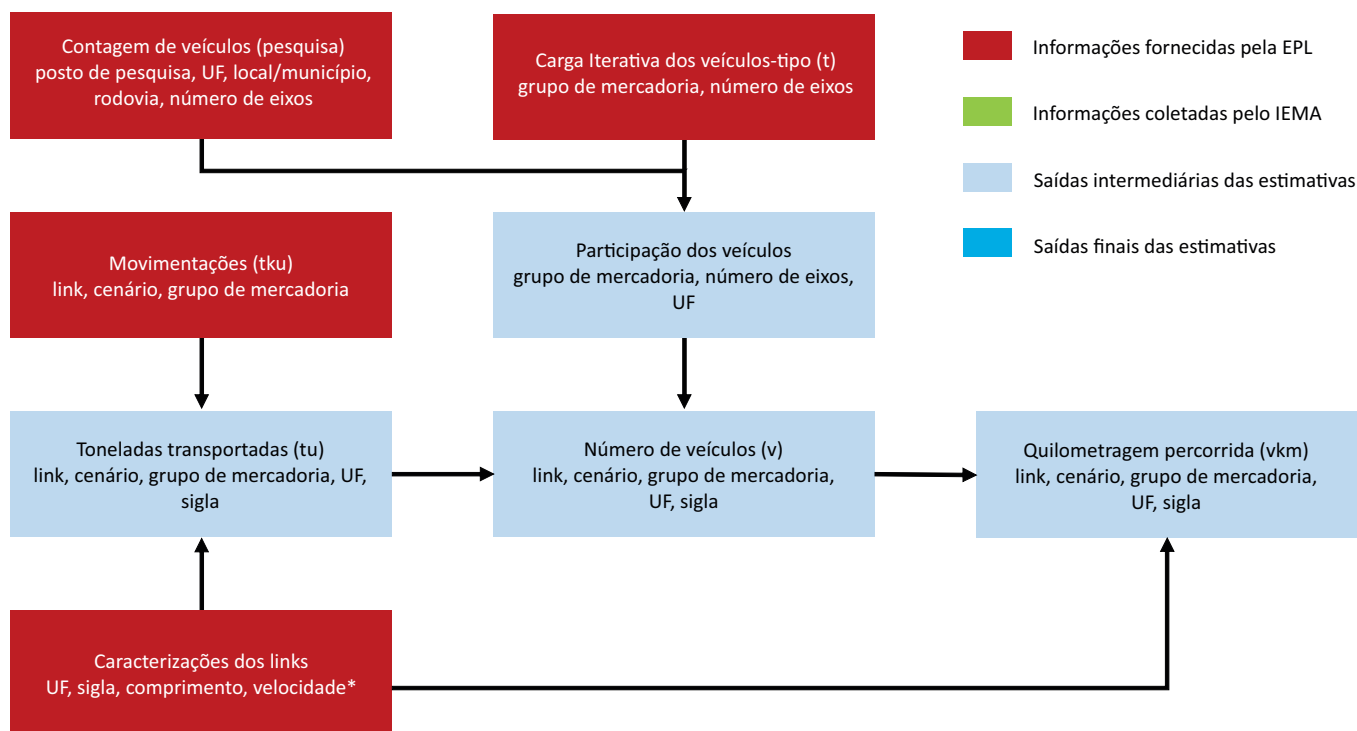


Ferroviário: fatores de emissão



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: quilometragem percorrida



Rodoviário: quilometragem percorrida

Estimativa do tu em termos de nº de veículos e capacidade de carga transportada

$$tu_{l,m,c} = \frac{tku_{l,m,c}}{km_l} = \sum_i Nv_{i,l,m,c} * c_{i,m} \quad \text{Dados EPL.}$$

$$c_{i,m} = cap_{i,m} * to_{i,m}$$

$$Nv_{i,l,m,c} = Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m}$$

- $tu_{l,m,c}$: tonelada útil transportada no link l , do grupo de mercadoria m , no cenário c ;
- $tku_{l,m,c}$: tonelada quilômetro transportada no link l , do grupo de mercadoria m , no cenário c ;
- km_l : extensão do link l ;
- $Nv_{i,l,m,c}$: número de veículos com i eixos, se movimentando no link l , transportando a mercadoria m , no cenário c ;
- $c_{i,m}$: carga iterativa dos veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $cap_{i,m}$: capacidade máxima de carga transportada por veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $to_{i,m}$: taxa de ocupação média dos veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $f_{i,l,m,c}$: participação dos veículos com i eixos, se movimentando no link l , transportando a mercadoria m .

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: quilometragem percorrida

Estimativa da carga iterativa dos veículos-tipo

$$C_{i,m} = cap_{i,m} * to_{i,m}$$

Dados EPL.

| Grupo de Mercadoria | Número de Eixos | Taxa de Ocupação | Capacidade Máxima | Carga Iterativa |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| GSA | 9 | 65,00% | 53 | 34,45 |
| GSA | 7 | 65,00% | 40 | 26 |
| GSNA | 4 | 50,00% | 19 | 9,5 |
| GSNA | 6 | 50,00% | 35 | 17,5 |
| GL | 7 | 50,00% | 36 | 18 |
| GL | 9 | 50,00% | 48 | 24 |
| CG | 3 | 70,00% | 14 | 9,8 |
| CG | 4 | 70,00% | 19 | 13,3 |
| CG | 5 | 70,00% | 25 | 17,5 |
| CG | 7 | 70,00% | 37 | 25,9 |
| CGC | 5 | 70,00% | 25 | 17,5 |
| CGC | 6 | 70,00% | 30 | 21 |

Rodoviário: quilometragem percorrida

Estimativa da participação dos veículos com i eixos

$$Nv_{i,l,m,c} = Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m}$$

Dados EPL.

| Posto de pesquisa | UF | Localidade / Município | Rodovia | Sigla Rodovia Simulações TKU |
|-------------------|----|------------------------|---------|------------------------------|
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | BR-364 | BR364 |
| P002 | AL | SÃO SEBASTIÃO | BR-101 | BR101 |
| P002 | AL | SÃO SEBASTIÃO | BR-101 | BR101 |
| P002 | AL | SÃO SEBASTIÃO | BR-101 | BR101 |
| P002 | AL | SÃO SEBASTIÃO | BR-101 | BR101 |
| P002 | AL | SÃO SEBASTIÃO | BR-101 | BR101 |

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

| UF | Total | | | | | | | CGNC e CGC | | | | | | |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|----|--|--|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | | |
| AC | 82% | 7% | 3% | 5% | 2% | 1% | 83% | 7% | 3% | 5% | 2% | 0% | | |
| AL | 73% | 9% | 8% | 7% | 2% | 1% | 74% | 9% | 8% | 7% | 2% | 0% | | |
| AM | 56% | 9% | 11% | 12% | 5% | 7% | 60% | 10% | 12% | 13% | 5% | 0% | | |
| AP | 79% | 4% | 5% | 2% | 3% | 7% | 85% | 5% | 6% | 2% | 3% | 0% | | |
| BA | 53% | 10% | 11% | 15% | 7% | 4% | 55% | 11% | 11% | 15% | 7% | 0% | | |
| CE | 67% | 13% | 8% | 8% | 3% | 2% | 68% | 13% | 8% | 8% | 3% | 0% | | |
| DF/GO | 58% | 16% | 8% | 10% | 5% | 3% | 60% | 17% | 8% | 10% | 5% | 0% | | |
| ES | 63% | 13% | 8% | 10% | 3% | 3% | 65% | 14% | 8% | 10% | 3% | 0% | | |
| MA | 62% | 12% | 9% | 9% | 5% | 4% | 64% | 12% | 10% | 9% | 5% | 0% | | |
| MG | 54% | 13% | 11% | 13% | 5% | 3% | 56% | 14% | 12% | 14% | 5% | 0% | | |
| MS | 46% | 9% | 6% | 15% | 15% | 8% | 50% | 10% | 7% | 16% | 17% | 0% | | |
| MT | 41% | 9% | 7% | 14% | 18% | 13% | 46% | 10% | 7% | 16% | 20% | 0% | | |
| PA | 67% | 10% | 9% | 8% | 4% | 2% | 68% | 11% | 9% | 8% | 4% | 0% | | |
| PB | 72% | 12% | 7% | 5% | 2% | 1% | 73% | 12% | 7% | 5% | 2% | 0% | | |
| PE | 69% | 13% | 8% | 7% | 2% | 2% | 70% | 13% | 8% | 7% | 2% | 0% | | |
| PR | 50% | 12% | 10% | 15% | 10% | 4% | 52% | 13% | 10% | 15% | 10% | 0% | | |
| PI | 60% | 13% | 8% | 11% | 5% | 3% | 62% | 14% | 8% | 11% | 5% | 0% | | |
| RJ | 70% | 10% | 9% | 8% | 2% | 1% | 71% | 10% | 9% | 8% | 2% | 0% | | |
| RN | 73% | 11% | 7% | 5% | 2% | 1% | 74% | 12% | 7% | 6% | 2% | 0% | | |
| RO | 61% | 9% | 6% | 10% | 9% | 6% | 65% | 10% | 6% | 10% | 9% | 0% | | |
| RR | 67% | 11% | 8% | 9% | 3% | 2% | 68% | 11% | 8% | 9% | 3% | 0% | | |
| RS | 54% | 14% | 10% | 15% | 6% | 2% | 55% | 14% | 10% | 15% | 6% | 0% | | |
| SC | 56% | 14% | 10% | 14% | 4% | 3% | 57% | 14% | 10% | 14% | 5% | 0% | | |
| SE | 71% | 14% | 6% | 6% | 2% | 1% | 71% | 14% | 6% | 7% | 2% | 0% | | |
| SP | 59% | 14% | 9% | 11% | 4% | 3% | 60% | 14% | 10% | 11% | 4% | 0% | | |
| TO | 44% | 13% | 14% | 15% | 9% | 4% | 46% | 14% | 15% | 16% | 10% | 0% | | |

Não foi necessário aplicar um tratamento diferenciado para CGC e CGNC, uma vez que os veículos-tipo de 5 eixos para CGC e para CGNC

possuem a mesma carga iterativa e os veículos de 6 eixos são exclusivamente de CGC.

Rodoviário: quilometragem percorrida

Método de conversão da tonelada-útil para número de veículos

$$tu_{l,m,c} = \sum_i Nv_{i,l,m,c} * c_{i,m} = \sum_i Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m} * c_{i,m}$$

$$tu_{l,m,c} = Nv_{l,m,c} * \sum_i f_{i,l,m} * c_{i,m}$$

$$Nv_{l,m,c} = \frac{tu_{l,m,c}}{\alpha_{l,m}}$$

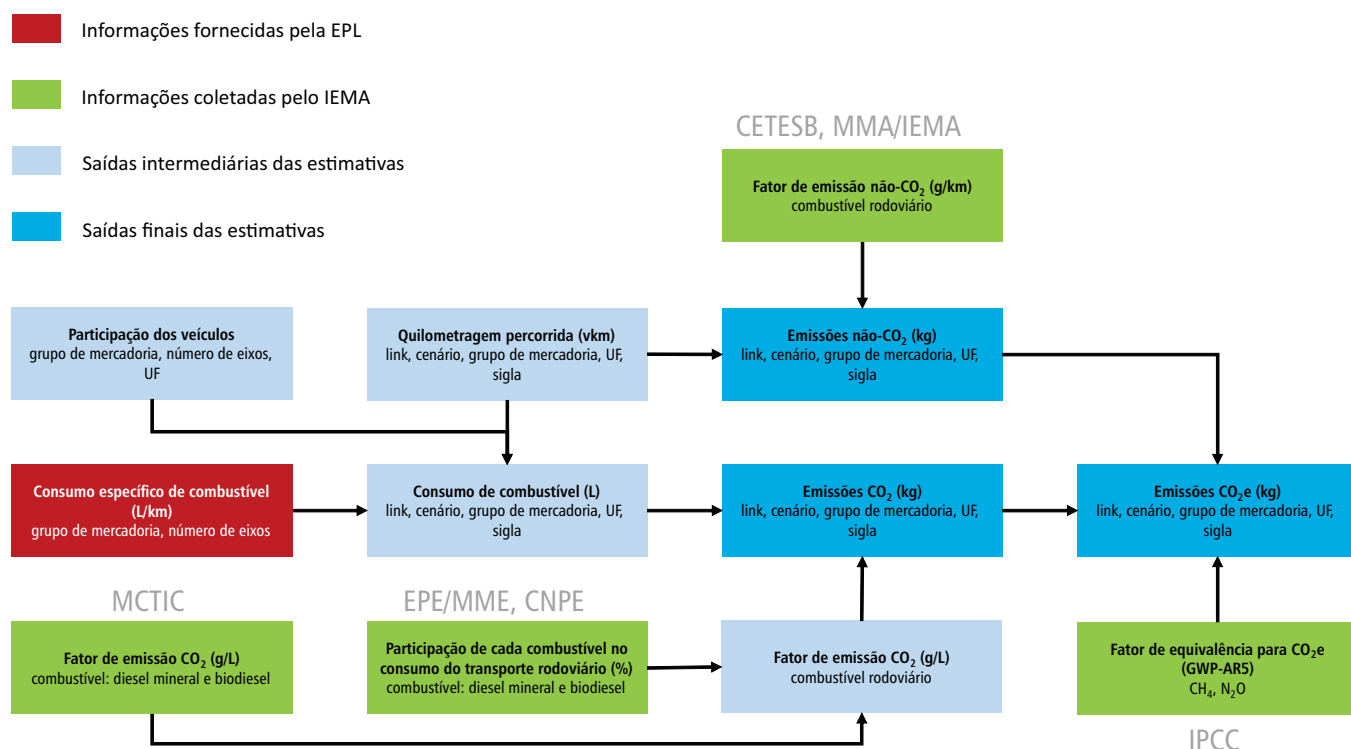
Como mostrado anteriormente, os fatores de participação dos veículos por número de eixos foi calculado para cada UF e não para cada link na rede de transportes.

Assim, links diferentes de uma mesma UF possuem o mesmo fator de conversão entre tonelada-útil e número de veículos para um mesmo grupo de mercadoria.

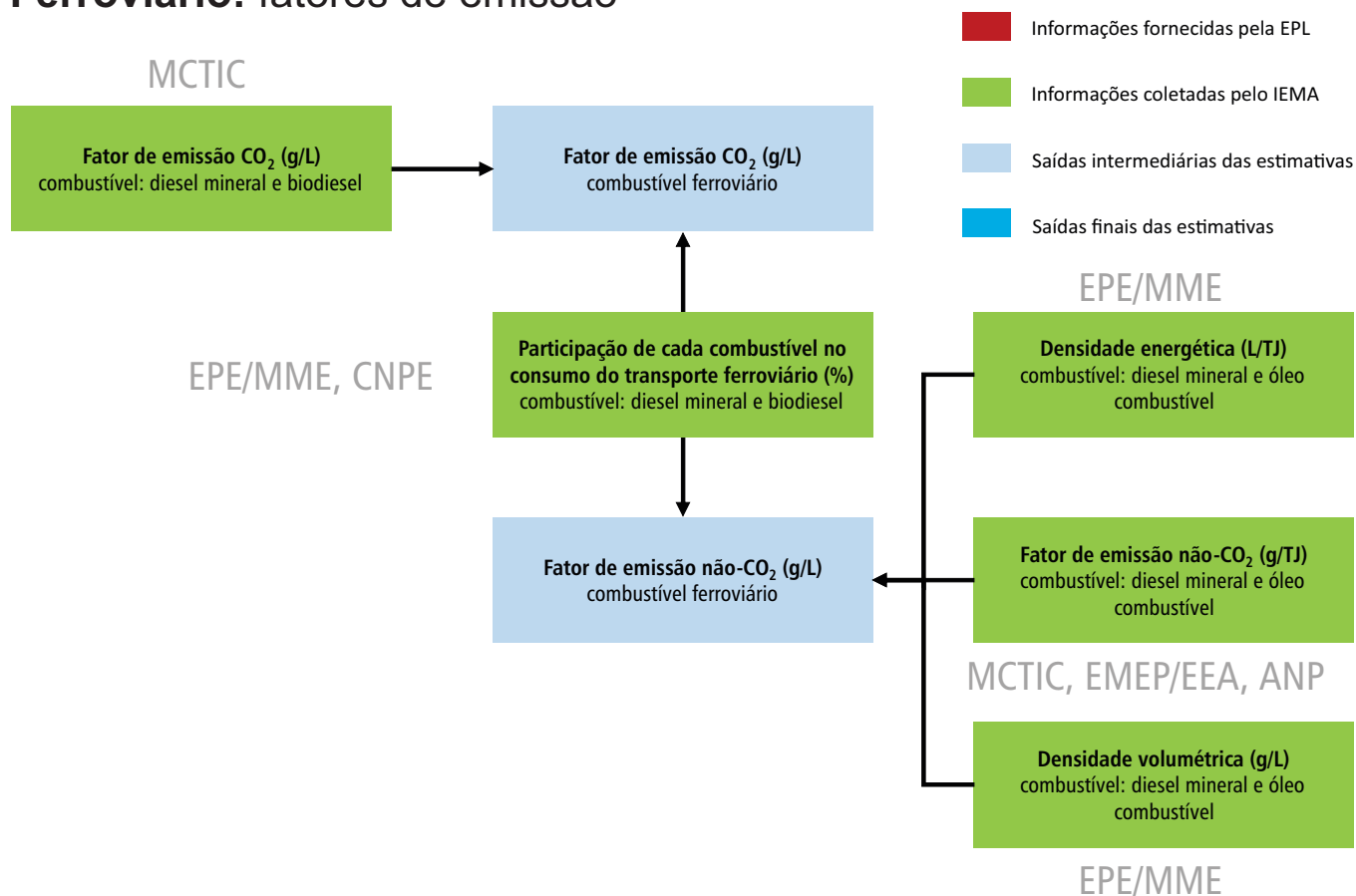
- $\alpha_{l,m}$: fator de conversão da tonelada-útil para número de veículos do carregamento da mercadoria m no link l

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: estimativa de emissões

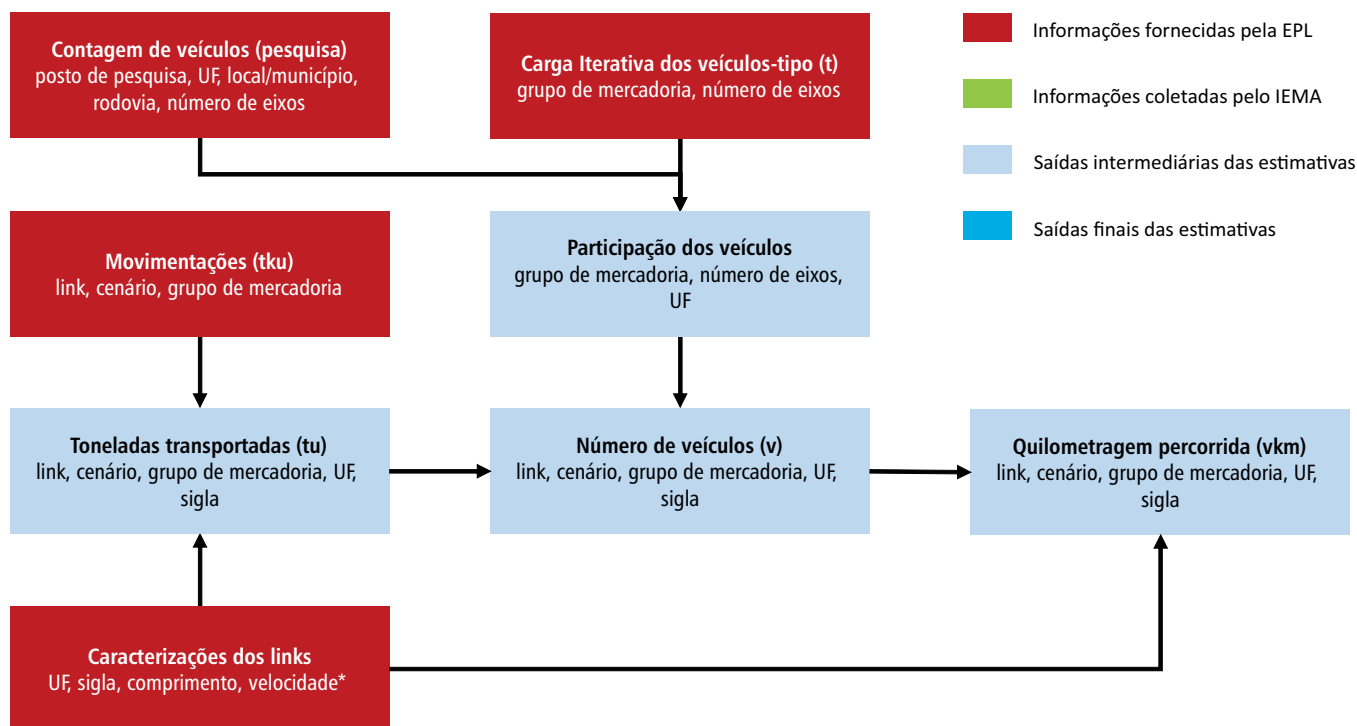


Ferroviário: fatores de emissão



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: quilometragem percorrida



Estimativa do tu em termos de nº de veículos e capacidade de carga transportada

$$tu_{l,m,c} = \frac{tku_{l,m,c}}{km_l} = \sum_i Nv_{i,l,m,c} * c_{i,m} \quad \text{■ Dados EPL.}$$

$$c_{i,m} = cap_{i,m} * to_{i,m}$$

$$Nv_{i,l,m,c} = Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m}$$

- $tu_{l,m,c}$: tonelada útil transportada no link l , do grupo de mercadoria m , no cenário c ;
- $tku_{l,m,c}$: tonelada quilômetro transportada no link l , do grupo de mercadoria m , no cenário c ;
- km_l : extensão do link l ;
- $Nv_{i,l,m,c}$: número de veículos com i eixos, se movimentando no link l , transportando a mercadoria m , no cenário c ;
- $c_{i,m}$: carga iterativa dos veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $cap_{i,m}$: capacidade máxima de carga transportada por veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $to_{i,m}$: taxa de ocupação média dos veículos-tipo com i eixos, transportando a mercadoria m ;
- $f_{i,l,m,c}$: participação dos veículos com i eixos, se movimentando no link l , transportando a mercadoria m .

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: quilometragem percorrida

Estimativa da carga iterativa dos veículos-tipo

$$C_{i,m} = \text{cap}_{i,m} * t_{o,i,m}$$

Dados EPL.

| Grupo de Mercadoria | Número de Eixos | Taxa de Ocupação | Capacidade Máxima | Carga Iterativa |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| GSA | 9 | 65,00% | 53 | 34,45 |
| GSA | 7 | 65,00% | 40 | 26 |
| GSNA | 4 | 50,00% | 19 | 9,5 |
| GSNA | 6 | 50,00% | 35 | 17,5 |
| GL | 7 | 50,00% | 36 | 18 |
| GL | 9 | 50,00% | 48 | 24 |
| CG | 3 | 70,00% | 14 | 9,8 |
| CG | 4 | 70,00% | 19 | 13,3 |
| CG | 5 | 70,00% | 25 | 17,5 |
| CG | 7 | 70,00% | 37 | 25,9 |
| CGC | 5 | 70,00% | 25 | 17,5 |
| CGC | 6 | 70,00% | 30 | 21 |

Estimativa da participação dos veículos com *i* eixos

$$Nv_{i,l,m,c} = Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m}$$

Dados EPL.

| Posto de pesquisa | UF | Localidade / Município | | | | | | | | | Rodovia | Sigla Rodovia | Simulações TKU |
|-------------------|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|---------------|----------------|
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| P001 | AC | RIO BRANCO | | | | | | | | | BR-364 | BR364 | BR364 |
| | | CGNC e CGC | | | | | | | | | | | |
| UF | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | |
| AC | 82% | 7% | 3% | 5% | 2% | 1% | 83% | 7% | 3% | 5% | 2% | 0% | |
| AL | 73% | 9% | 8% | 7% | 2% | 1% | 74% | 9% | 8% | 7% | 2% | 0% | |
| AM | 56% | 9% | 11% | 12% | 5% | 7% | 60% | 10% | 12% | 13% | 5% | 0% | |
| AP | 79% | 4% | 5% | 2% | 3% | 7% | 85% | 5% | 6% | 2% | 3% | 0% | |
| BA | 53% | 10% | 11% | 15% | 7% | 4% | 55% | 11% | 11% | 15% | 7% | 0% | |
| CE | 67% | 13% | 8% | 8% | 3% | 2% | 68% | 13% | 8% | 8% | 3% | 0% | |
| DF/GO | 58% | 16% | 8% | 10% | 5% | 3% | 60% | 17% | 8% | 10% | 5% | 0% | |
| ES | 63% | 13% | 8% | 10% | 3% | 3% | 65% | 14% | 8% | 10% | 3% | 0% | |
| MA | 62% | 12% | 9% | 9% | 5% | 4% | 64% | 12% | 10% | 9% | 5% | 0% | |
| MG | 54% | 13% | 11% | 13% | 5% | 3% | 56% | 14% | 12% | 14% | 5% | 0% | |
| MS | 46% | 9% | 6% | 15% | 15% | 8% | 50% | 10% | 7% | 16% | 17% | 0% | |
| MT | 41% | 9% | 7% | 14% | 18% | 13% | 46% | 10% | 7% | 16% | 20% | 0% | |
| PA | 67% | 10% | 9% | 8% | 4% | 2% | 68% | 11% | 9% | 8% | 4% | 0% | |
| PB | 72% | 12% | 7% | 5% | 2% | 1% | 73% | 12% | 7% | 5% | 2% | 0% | |
| PE | 69% | 13% | 8% | 7% | 2% | 2% | 70% | 13% | 8% | 7% | 2% | 0% | |
| PR | 50% | 12% | 10% | 15% | 10% | 4% | 52% | 13% | 10% | 15% | 10% | 0% | |
| PI | 60% | 13% | 8% | 11% | 5% | 3% | 62% | 14% | 8% | 11% | 5% | 0% | |
| RJ | 70% | 10% | 9% | 8% | 2% | 1% | 71% | 10% | 9% | 8% | 2% | 0% | |
| RN | 73% | 11% | 7% | 5% | 2% | 1% | 74% | 12% | 7% | 6% | 2% | 0% | |
| RO | 61% | 9% | 6% | 10% | 9% | 6% | 65% | 10% | 6% | 10% | 9% | 0% | |
| RR | 67% | 11% | 8% | 9% | 3% | 2% | 68% | 11% | 8% | 9% | 3% | 0% | |
| RS | 54% | 14% | 10% | 15% | 6% | 2% | 55% | 14% | 10% | 15% | 6% | 0% | |
| SC | 56% | 14% | 10% | 14% | 4% | 3% | 57% | 14% | 10% | 14% | 5% | 0% | |
| SE | 71% | 14% | 6% | 6% | 2% | 1% | 71% | 14% | 6% | 7% | 2% | 0% | |
| SP | 59% | 14% | 9% | 11% | 4% | 3% | 60% | 14% | 10% | 11% | 4% | 0% | |
| TO | 44% | 13% | 14% | 15% | 9% | 4% | 46% | 14% | 15% | 16% | 10% | 0% | |

Não foi necessário aplicar um tratamento diferenciado para CGC e CGNC, uma vez que os veículos-tipo de 5 eixos para CGC e para CGNC possuem a mesma carga iterativa e os veículos de 6 eixos são exclusivamente de CGC.

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: quilometragem percorrida

Método de conversão da tonelada-útil para número de veículos

$$tu_{l,m,c} = \sum_i Nv_{i,l,m,c} * c_{i,m} = \sum_i Nv_{l,m,c} * f_{i,l,m} * c_{i,m}$$

$$tu_{l,m,c} = Nv_{l,m,c} * \sum_i f_{i,l,m} * c_{i,m}$$

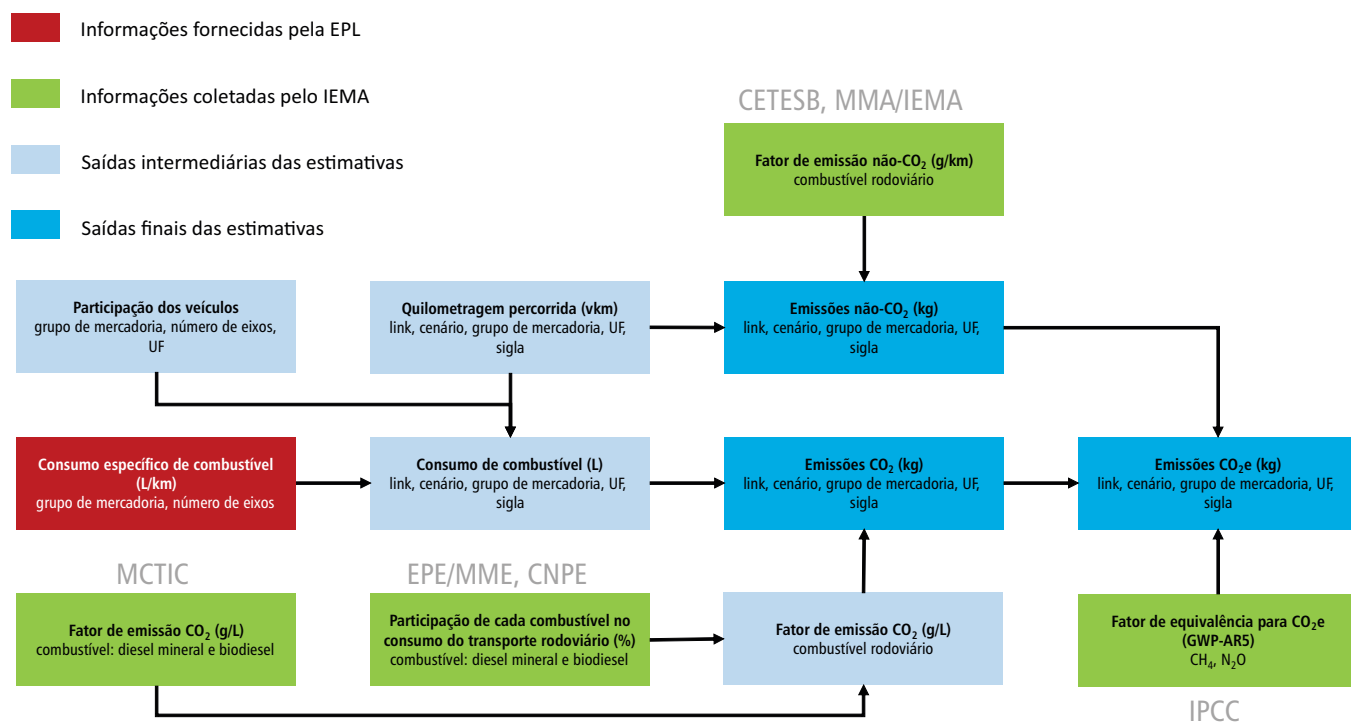
$$Nv_{l,m,c} = \frac{tu_{l,m,c}}{\alpha_{l,m}}$$

- $\alpha_{l,m}$: fator de conversão da tonelada-útil para número de veículos do carregamento da mercadoria m no link /

Como mostrado no slide anterior, os fatores de participação dos veículos por número de eixos foi calculado para cada UF e não para cada link.

Assim, links diferentes de uma mesma UF possuem o mesmo fator de conversão entre tonelada-útil e número de veículos para um mesmo grupo de mercadoria.

Rodoviário: estimativa de emissões

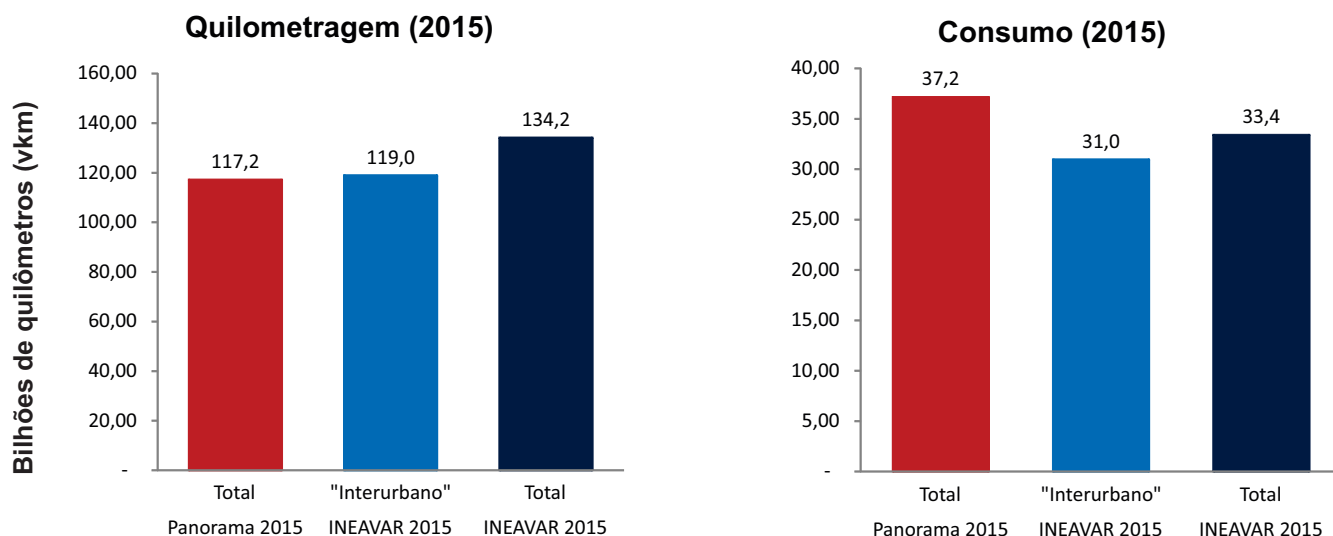


(*) Neste primeiro momento, EPL e IEMA entenderam que incluir ganhos de eficiência energética nos

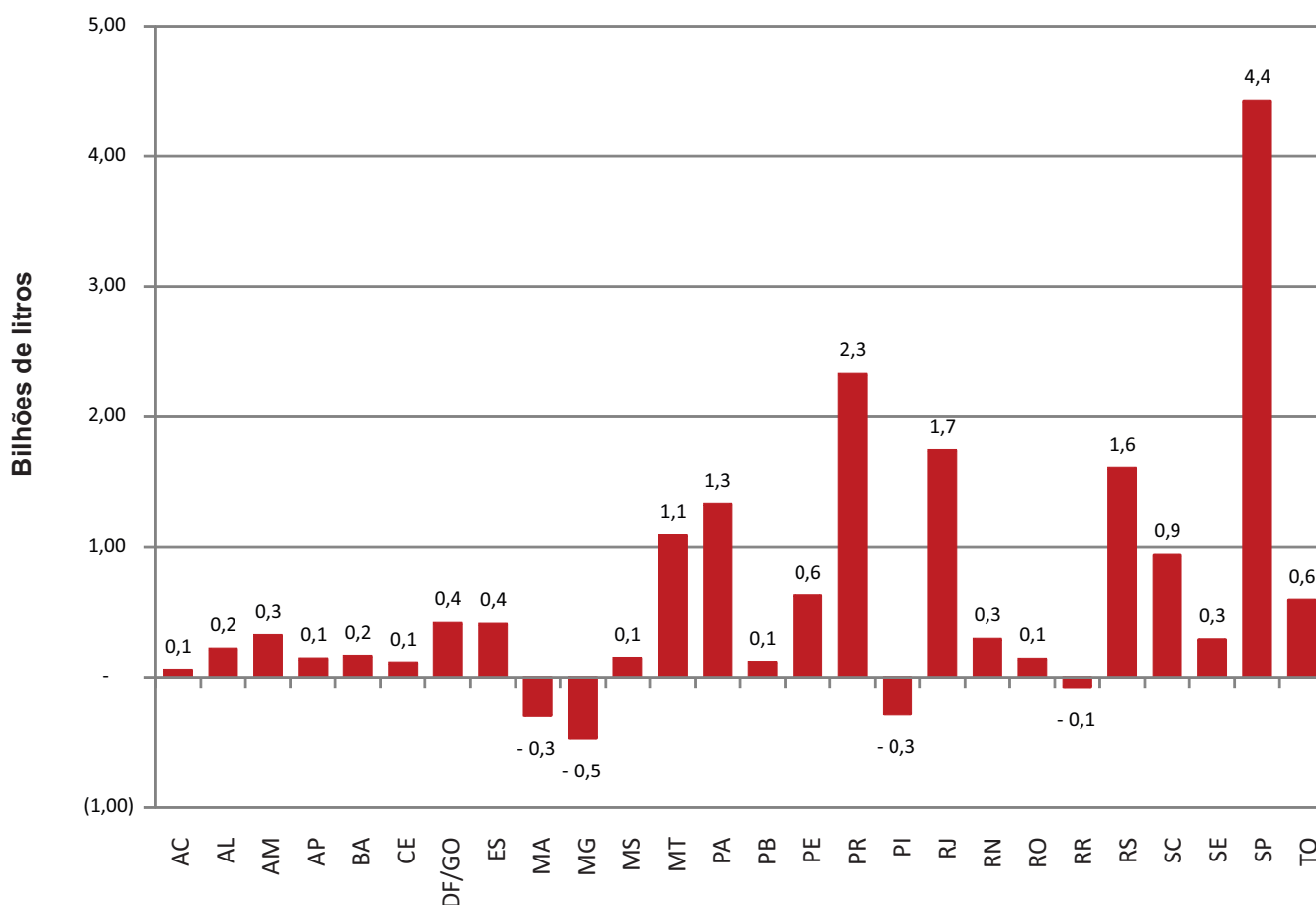
cenários 2025 é uma das recomendações de melhorias para trabalhos futuros.

METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Rodoviário: Inventário Nacional (MMA/IEMA) Comparações vkm e consumo (2015)

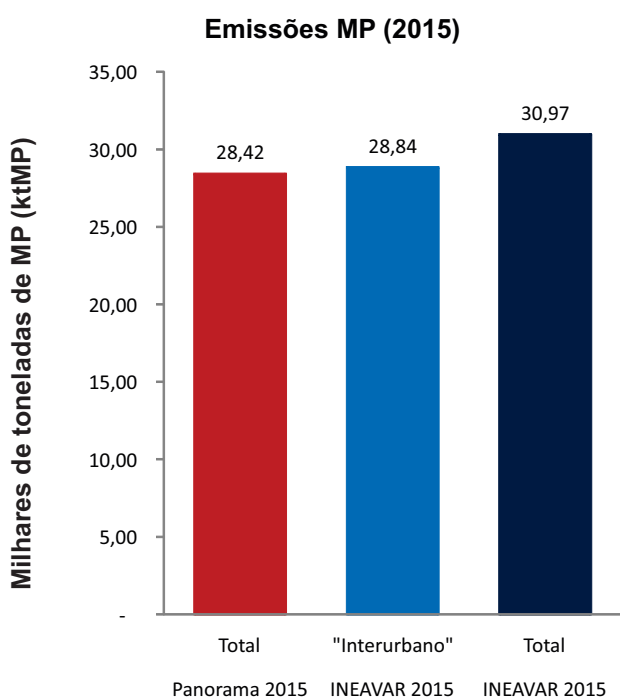
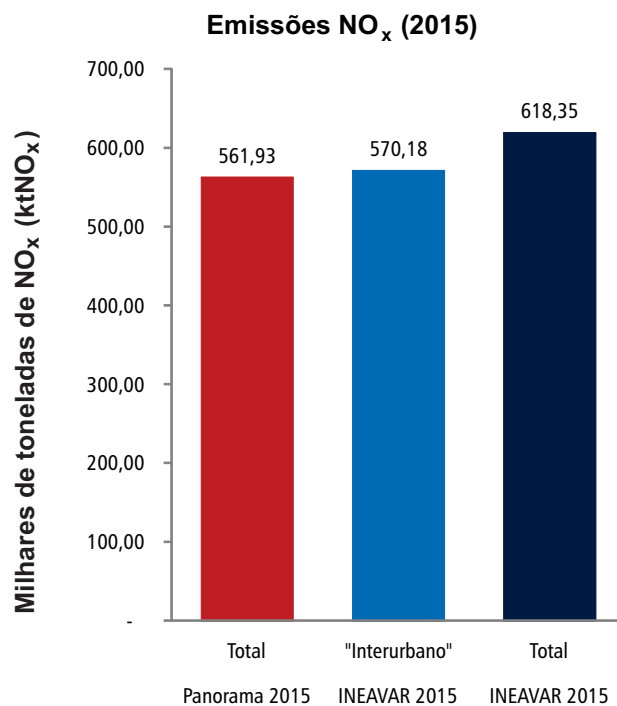
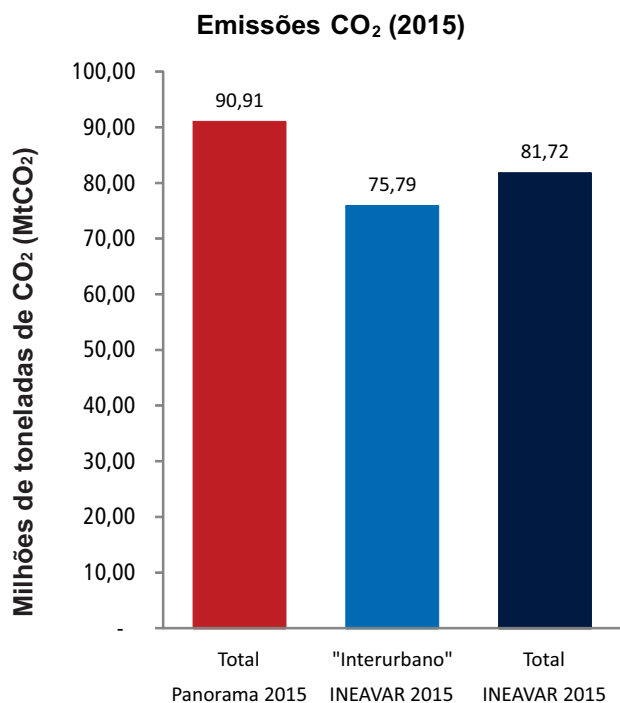


Rodoviário: Vendas estaduais ANP Comparações óleo diesel (2015)



METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

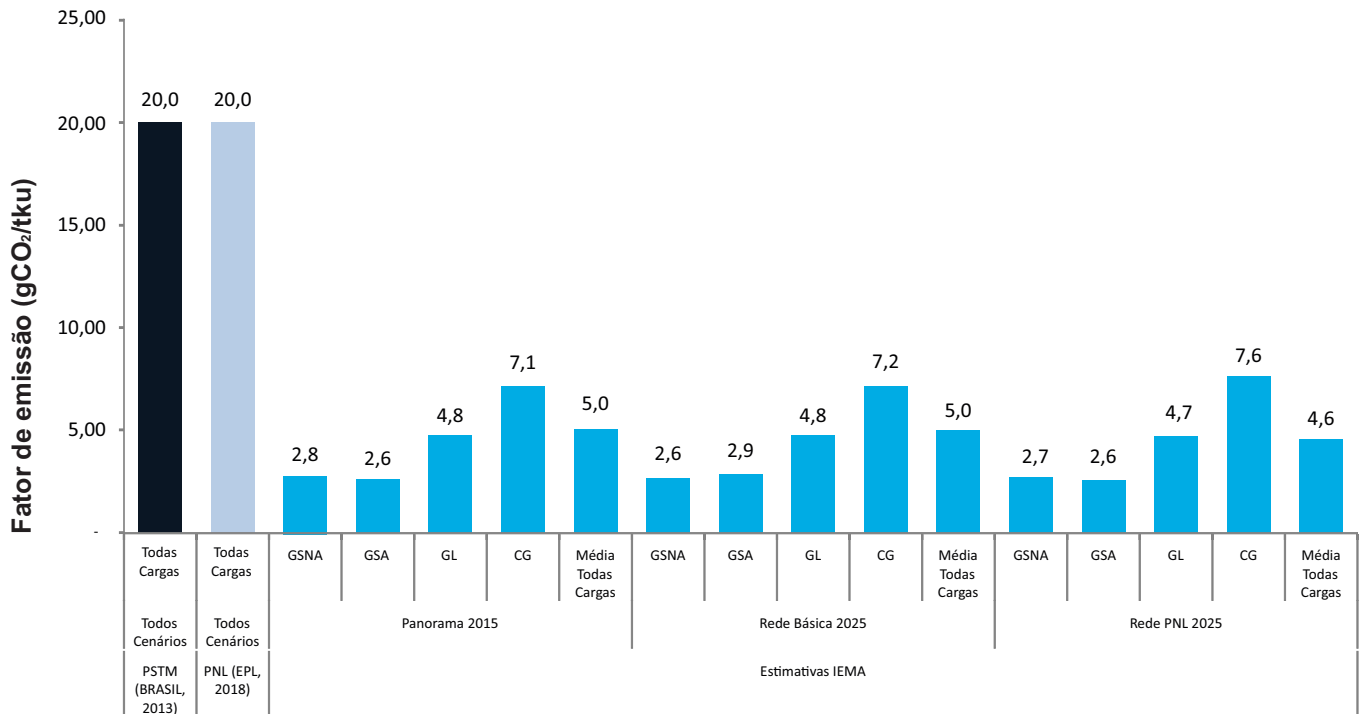
Rodoviário: Inventário Nacional (MMA/IEMA) Comparações emissões (2015)



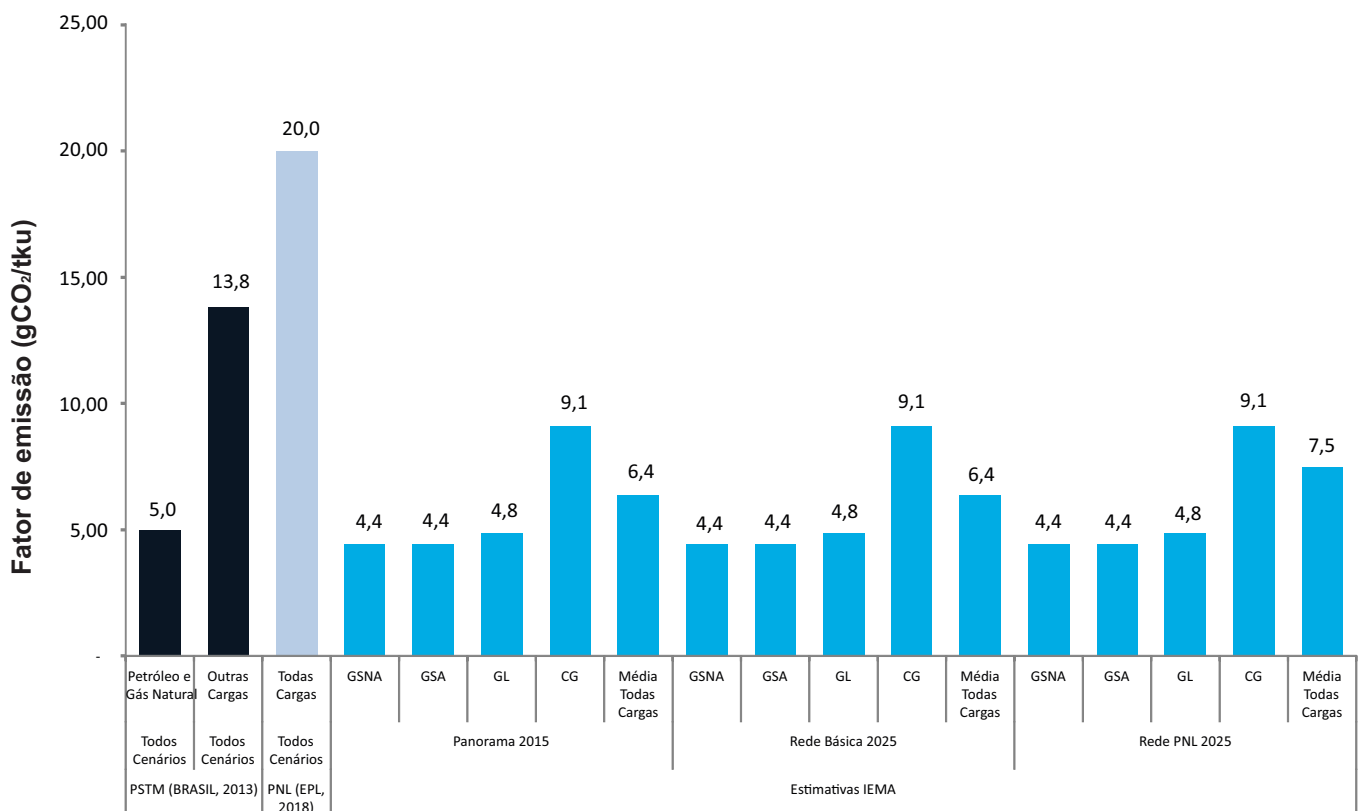
METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Resultados: Fator de emissão CO₂

Aquaviário (hidrovias)

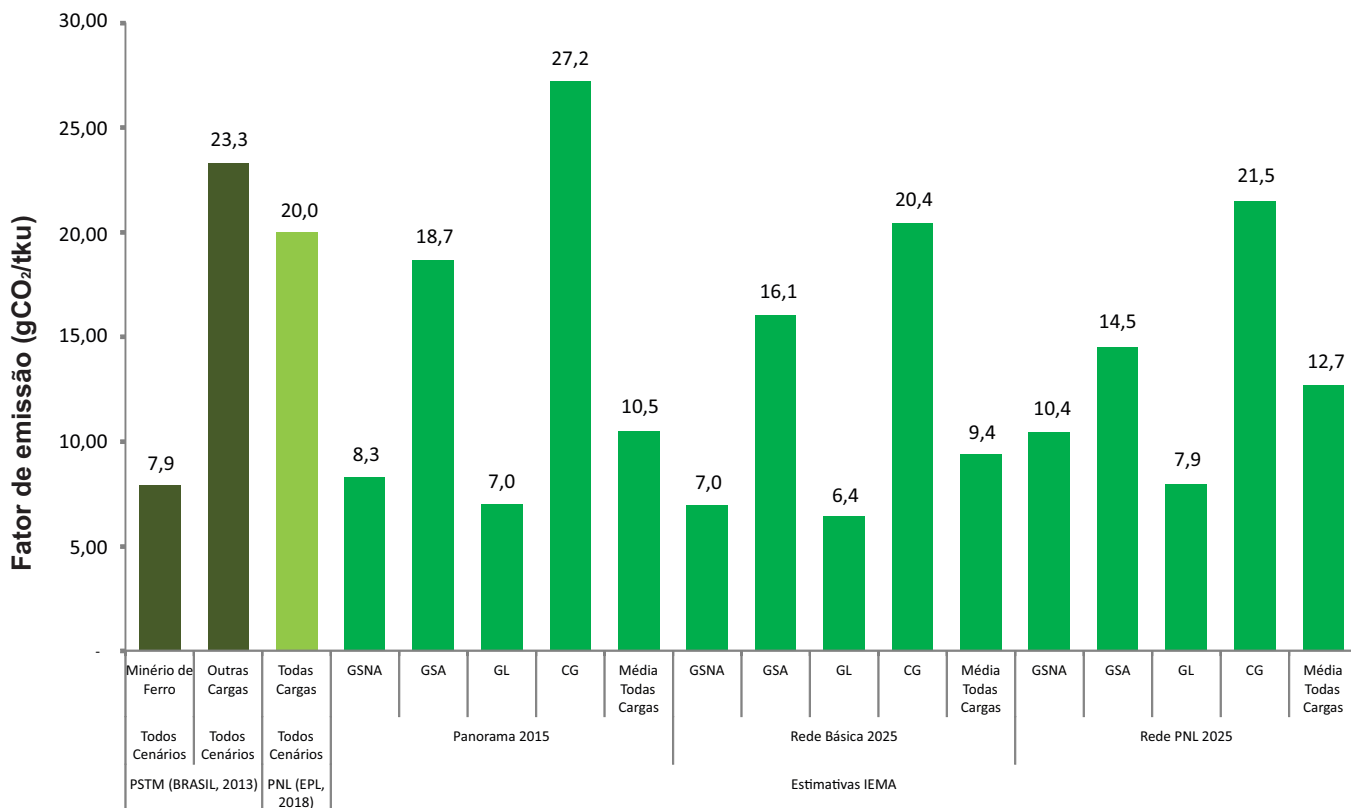


Aquaviário (cabotagem)

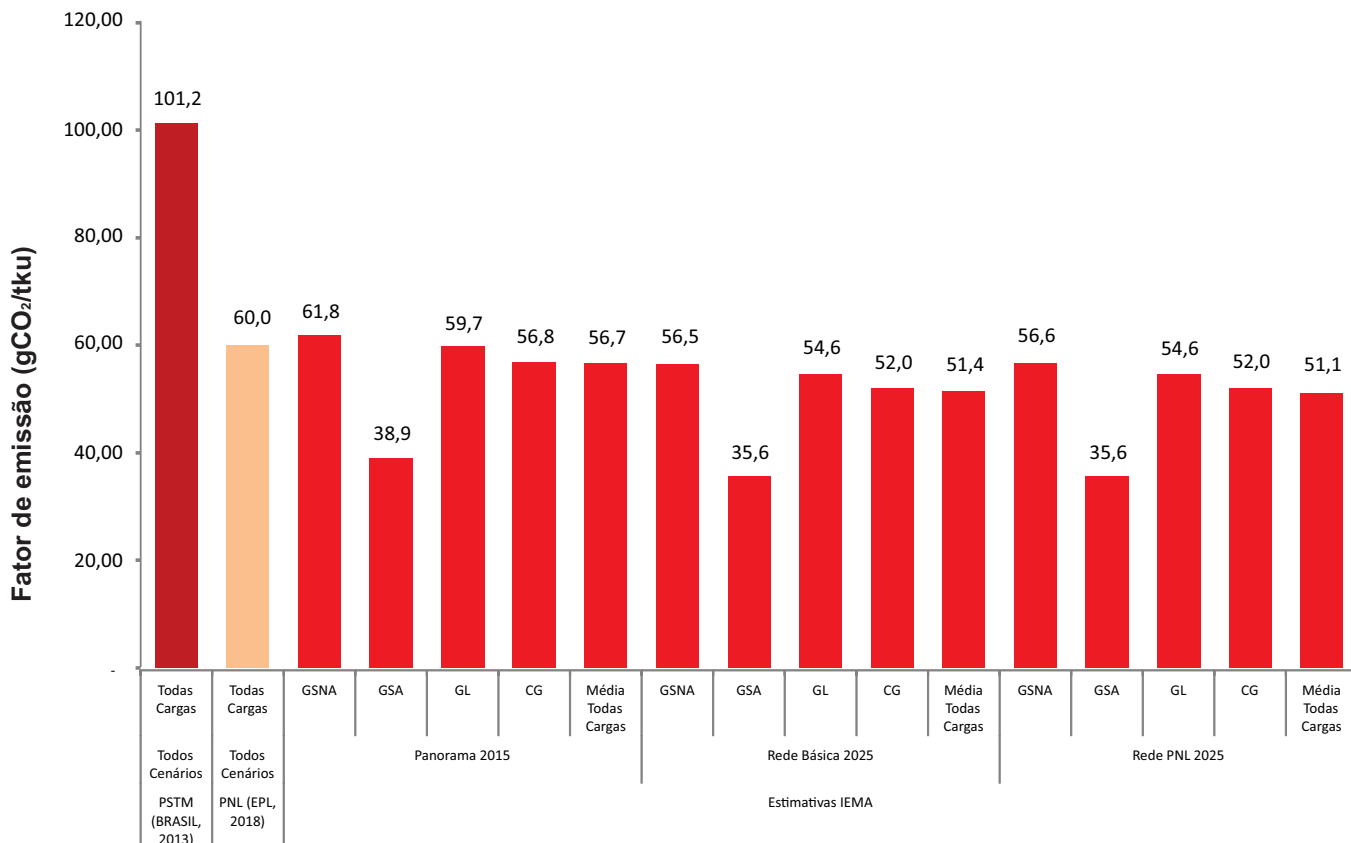


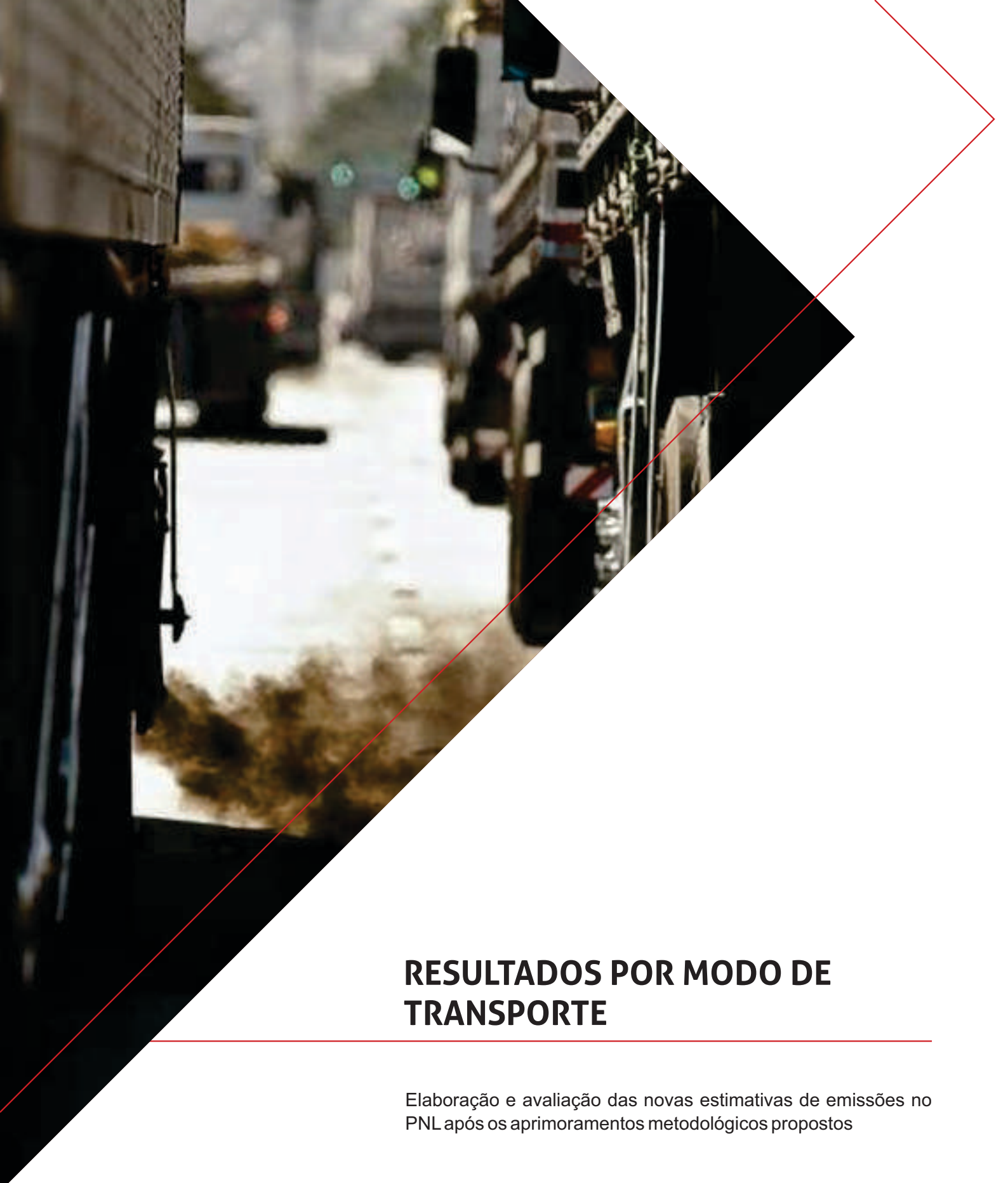
METODOLOGIA EPL-IEMA PARA ESTIMATIVA DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ferroviário



Rodoviário



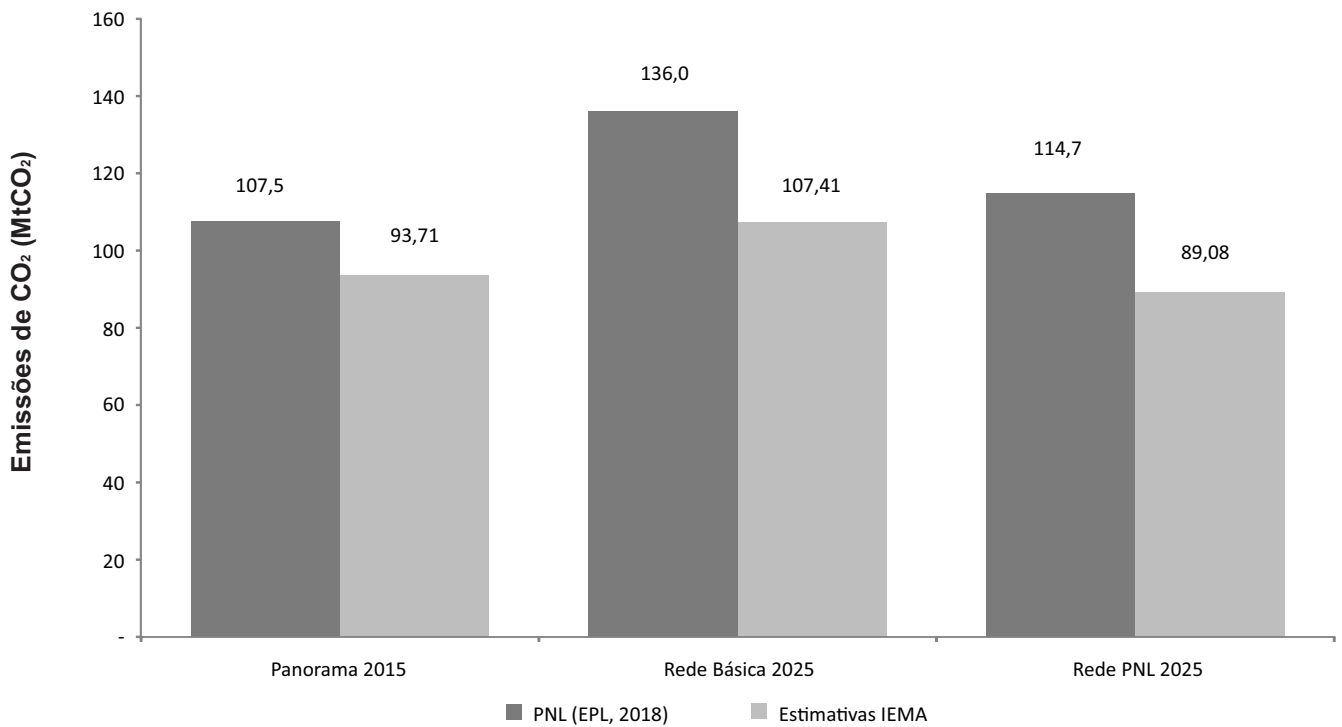


RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE

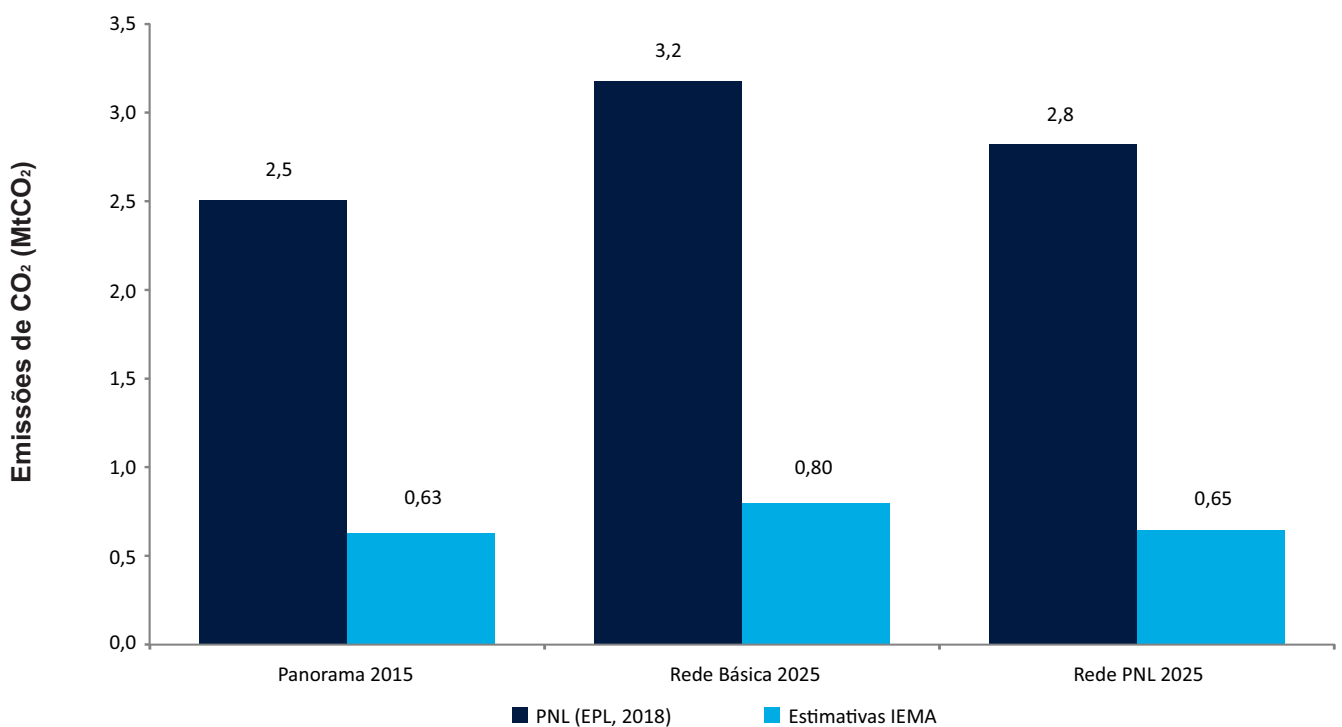
Elaboração e avaliação das novas estimativas de emissões no PNL após os aprimoramentos metodológicos propostos

RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE

Resultados – Todos os modos

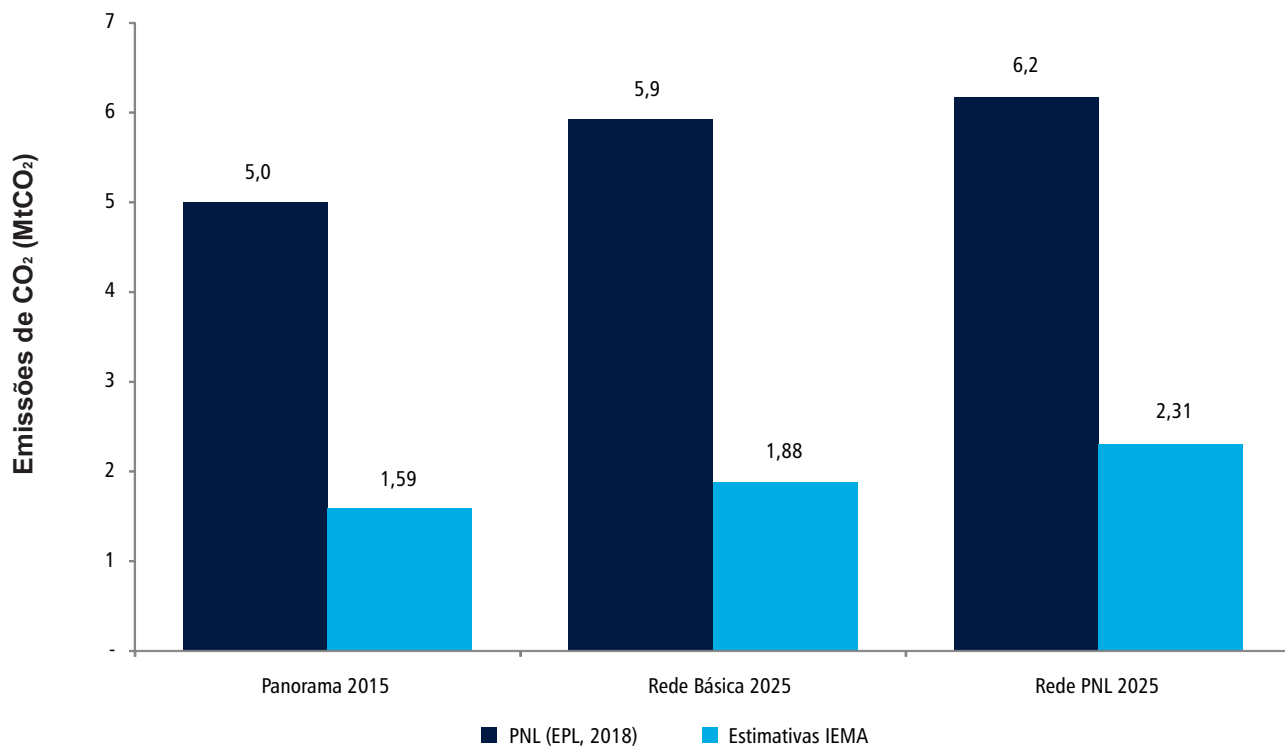


Resultados – Hidroviário

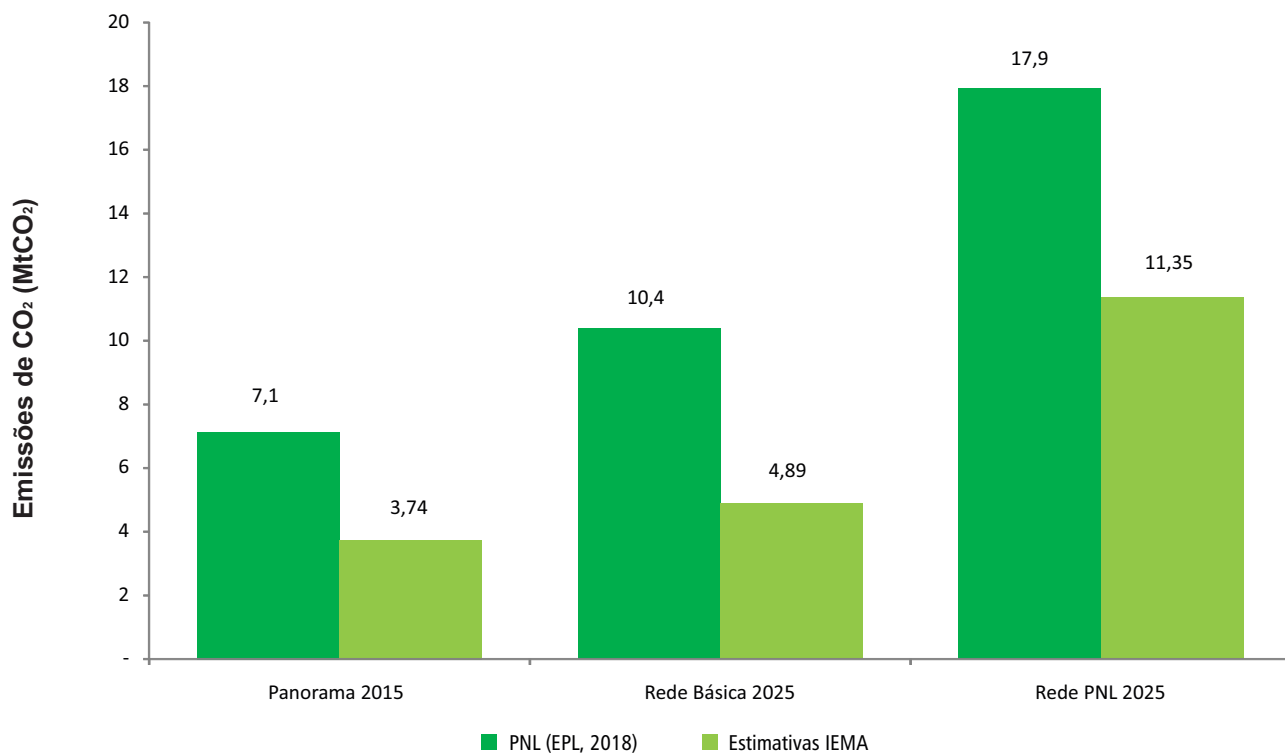


RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE

Resultados – Cabotagem

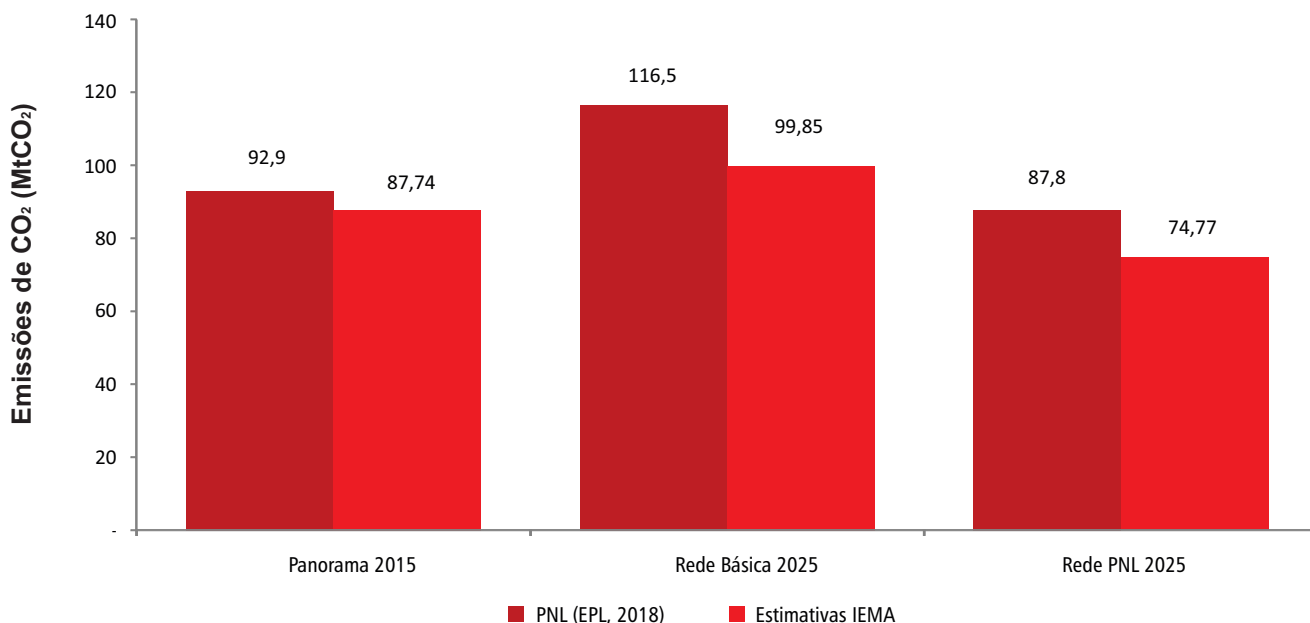


Resultados – Ferroviário



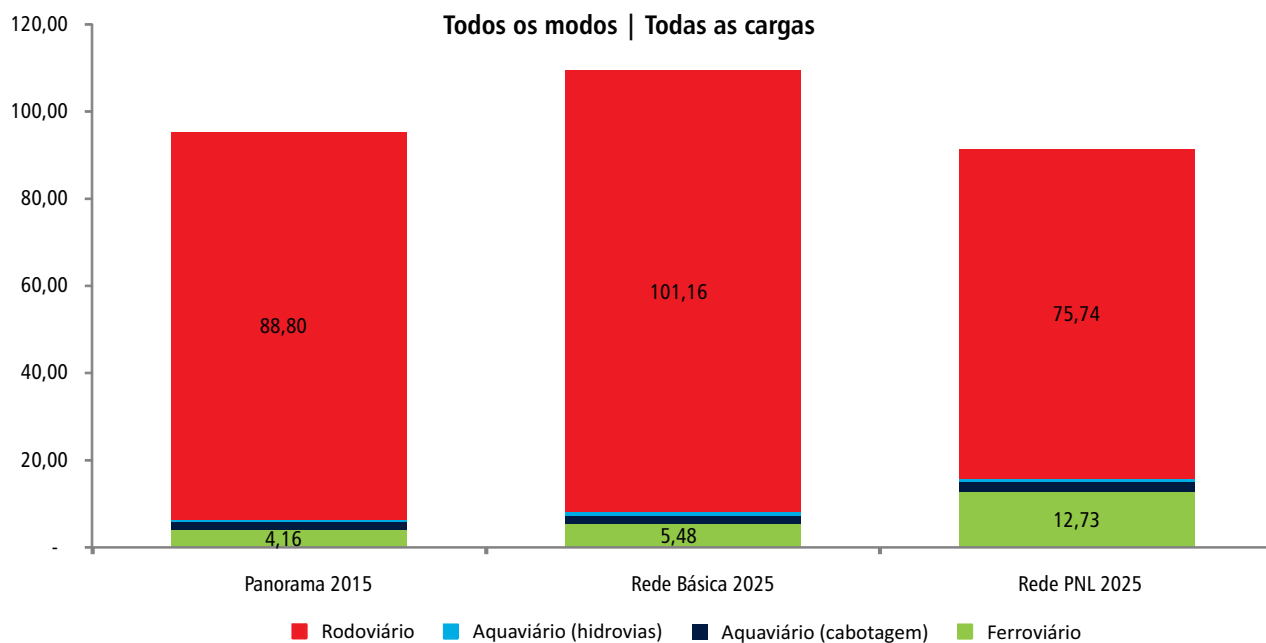
RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE

Resultados – Rodoviário



Resultados: Emissões CO₂e

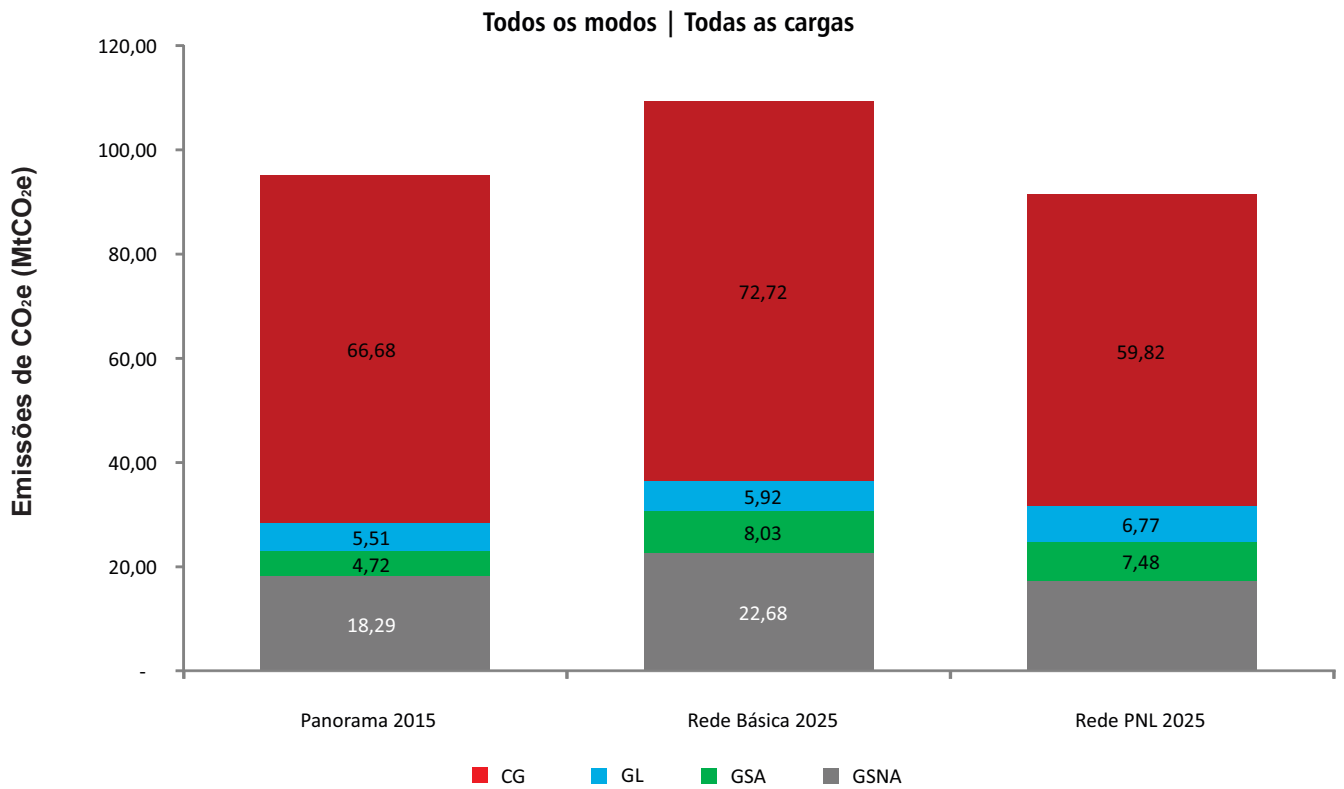
Emissões por modo de transporte nos três cenários estimados



| Modo de Transporte | Panorama 2015 | Rede Básica 2025 | Rede PNL 2025 |
|------------------------|---------------|------------------|---------------|
| Ferroviário | 4,16 | 5,48 | 12,73 |
| Aquaviário (cabotagem) | 1,61 | 1,90 | 2,33 |
| Aquaviário (hidrovias) | 0,64 | 0,81 | 0,65 |
| Rodoviário | 88,80 | 101,16 | 75,74 |
| Todos os modos | 95,20 | 109,34 | 91,45 |

RESULTADOS POR MODO DE TRANSPORTE

Emissões por grupo de mercadoria nos três cenários estimados



REFERÊNCIAS

- Agência Ambiental Europeia / Programa de Monitoramento e Avaliação Europeu – EMEP/EEA. EMEP/EEAAir Pollutant Emission Inventory Guidebook, 2016.
- Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Anuário Estatístico do Setor Ferroviário 2019, 2019.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP N° 45, de 20.12.2012, 2012.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP N° 52, de 29.12.2010, 2010.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP N° 789, de 23.05.2019, 2019.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2018, 2019.
- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Resolução N° 16, de 29.10.2018, 2018.
- Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018, 2019.
- Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2019. Disponível em: <http://www.seeg.eco.br>. Acesso em 06 nov. 2019.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Fifth Assessment Report, 2014.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up - Relatório de Referência, 2014.
- Ministério de Minas e Energia (MME). Sistema de Informações Energéticas (SIE Brasil), 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/>. Acesso em 06 nov. 2019.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012, 2014.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). PROCONVE: Programa De Controle De Poluição Do Ar Por Veículos Automotores, 2013.
- Ministério dos Transportes (MTransportes) e Ministério das Cidades (MCid). Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), 2013.

