



Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2024): **Energia**

SIEEG Setor Energia 1970-2024

Versão 13 – dezembro de 2025

Coordenação Técnica
Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)

Equipe Responsável
André Luís Ferreira
David Shiling Tsai
Felipe Barcellos e Silva
Helen Sousa
Ingrid Graces
Marcelo dos Santos Cremer

Revisão
Greenpeace

Sumário

1. Introdução	6
1.1. Matriz energética e uso de energia no Brasil	6
1.2. Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção e ao consumo	8
1.3. Escopo e estruturação da estimativa de emissões do Setor de Energia	9
2. Metodologia de estimativa de emissões	13
2.1. Emissões nacionais	13
2.1.1 Emissões de CO ₂ pela queima de combustíveis: método, abordagem bottom-up	13
2.1.2. Emissões de CH ₄ , N ₂ O, CO, NO _x e COVNM pela queima de combustíveis	14
2.1.3. Emissões pela queima de combustíveis no transporte rodoviário	16
2.1.4. Emissões pela queima de combustíveis no transporte aéreo	18
2.1.5. Emissões fugitivas de CH ₄ na extração de carvão mineral	19
2.1.6. Emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás natural	22
2.2. Alocação de emissões por Unidades da Federação	23
3. Diferenças entre as versões do SEEG	26
3.1 Diferenças do SEEG 2014 em relação ao SEEG 2013	26
3.2 Diferenças do SEEG 2015 em relação ao SEEG 2014	27
4. Qualidade dos dados	28
5. Resultados	31
Referências bibliográficas	40
Anexo A: Fatores de emissão de CO ₂ dos combustíveis	41
Anexo B: Densidade energética dos combustíveis, por ano (tep/unidade comercial)	43
Anexo C: Alocação de emissões por municípios	45

1. Introdução

1.1. Matriz energética e uso de energia no Brasil

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2025, Ano-base 2024, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), entre as fontes primárias de energia atualmente utilizadas no Brasil, as fontes renováveis e não renováveis apresentaram participação equivalente na oferta interna bruta de energia em 2024, com 50% cada. A maior parte dessa energia ofertada corresponde ao petróleo e seus derivados, que responderam por 34%, seguidos pelos derivados da cana-de-açúcar (17%), energia hidráulica (12%), gás natural (10%) e lenha e carvão vegetal (9%). As demais fontes representaram, no conjunto, apenas 18%¹.

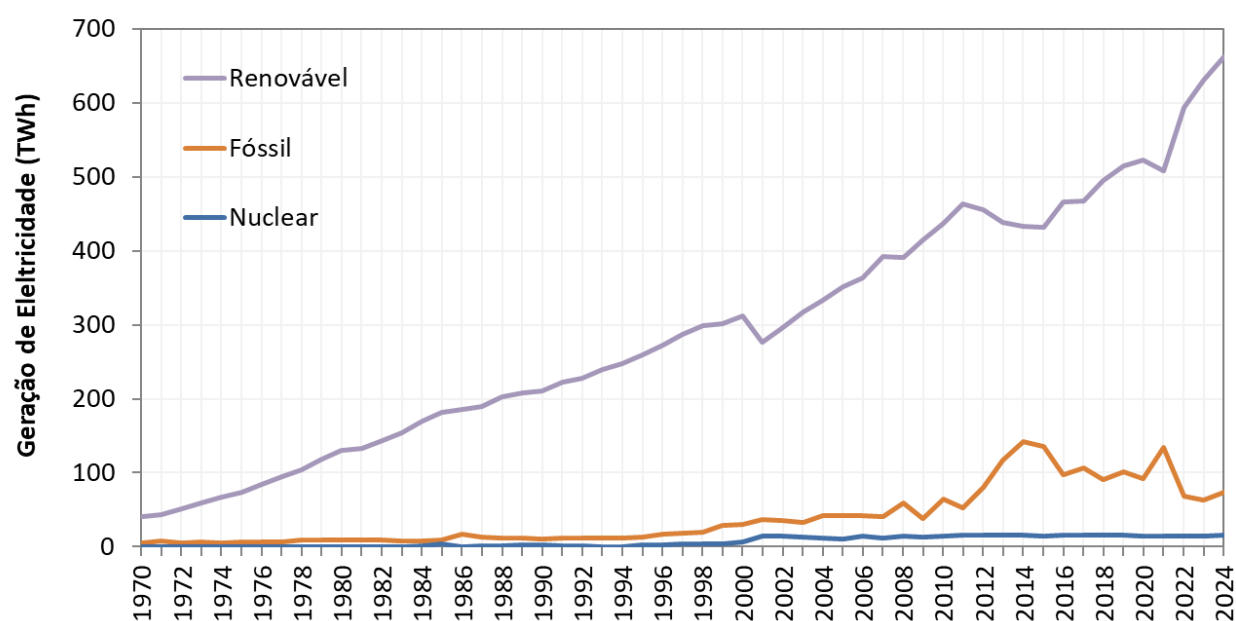
Apesar da predominância do petróleo e do crescente uso do gás natural, a matriz energética brasileira ainda apresenta uma elevada participação de fontes renováveis – 50% – se comparada com a média mundial, que é de aproximadamente 15%.

Em relação à matriz de geração elétrica, a participação de fontes renováveis é ainda mais acentuada, representando 88% da geração interna de eletricidade em 2024, distribuída entre energia hidráulica (56%), eólica (14%), solar fotovoltaica (9%) e biomassa (8%).

Convém destacar que, nos últimos anos, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira diminuiu de 45% em 2009 para 42% em 2017, chegando a 38% em 2014. Já em 2024, essa participação atingiu 50%. Em boa medida, essa dinâmica é explicada pela ampliação/retração da geração termelétrica utilizando combustíveis não renováveis e pela relação entre o consumo automotivo de gasolina comum e de etanol hidratado durante parte desse período, conforme ilustram a Figura 1, a Figura 2 e a Figura 3.

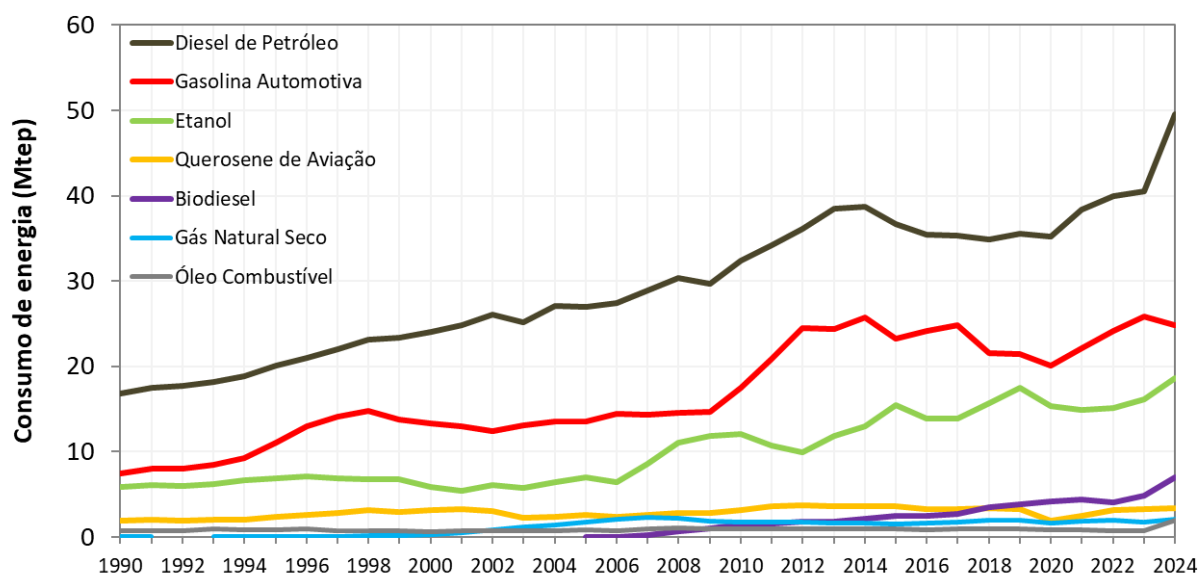
¹ Esses dados foram obtidos no Relatório Síntese do BEN 2025 (Ano-base 2024).

Figura 1: Evolução da participação de fontes de energia primária na geração de eletricidade



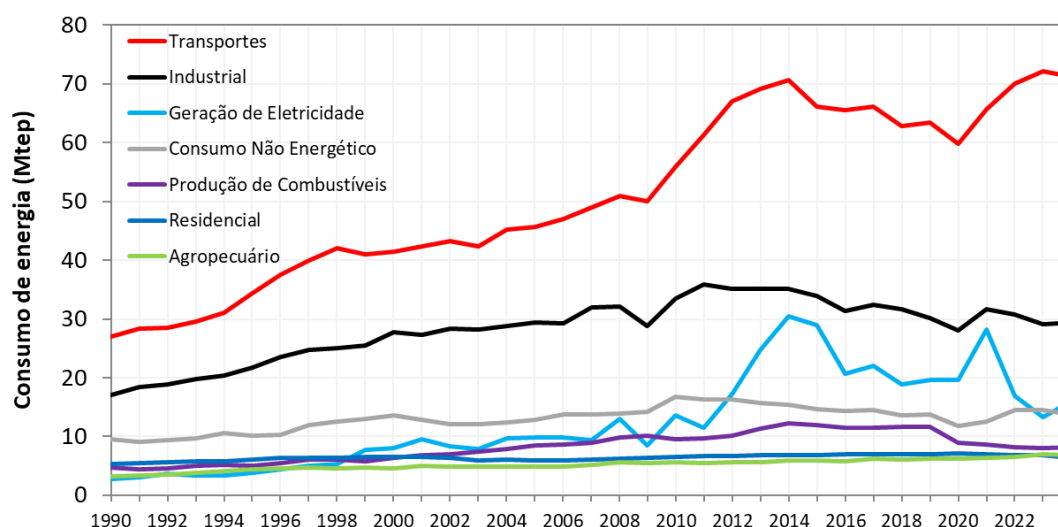
Fonte: Elaborado a partir do BEN 2025.

Figura 2: Evolução do consumo dos principais combustíveis nos transportes



Fonte: Elaborado a partir do BEN 2025.

Figura 3: Evolução do consumo energético setorial de combustíveis fósseis



Fonte: Elaborado a partir do BEN 2025

1.2. Emissões de gases de efeito estufa associadas à produção e ao consumo de energia

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas à produção e consumo de energia ocorrem segundo dois tipos de processos: (i) queima de combustíveis e (ii) emissões fugitivas.

No processo de combustão, ou queima de combustíveis, a energia química contida no combustível é liberada como calor, que pode ser destinado diretamente ao uso final (fornos, aquecedores etc.) ou convertido em energia mecânica e elétrica, tal como ocorre na geração termelétrica e em fontes móveis (veículos). Durante o processo de combustão, o carbono (C) armazenado nos combustíveis é oxidado e emitido como dióxido de carbono (CO_2). Também são emitidas quantidades relativamente menores de outros gases, resultantes da queima incompleta do combustível – metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) –, e da oxidação do nitrogênio (N_2) presente no combustível ou no ar, dependendo da temperatura da combustão – os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o óxido nítrico (N_2O).

As emissões fugitivas decorrem de descargas, intencionais e não intencionais, provenientes dos processos produtivos de carvão mineral, petróleo e gás natural. Abrangem as etapas de extração, estocagem, processamento e transporte dos produtos.

O processo geológico de formação do carvão, que ocorre ao longo de milhões de anos, gera gás metano (CH₄) que permanece armazenado junto com o mineral sólido. Este gás é liberado quando o carvão mineral é submetido a pressões mais baixas, o que ocorre durante a escavação das minas.

Quanto às emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás, estas ocorrem em três áreas de atividade, segundo o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)²:

- **Extração e produção de petróleo e gás natural:** Tocha (flare); ventilação de gás; flash de metano em tanques; processo de desidratação a glicol; processo de remoção de CO₂ do gás (MEA/DEA); passagens de PIG em linhas; fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); atividades de perfuração; derramamento de petróleo em canaletas; tanque de ventilação atmosférica; despressurização; e limpeza de tanques e vasos.
- **Refino de petróleo e processamento de gás natural:** Regenerador de UFCC (Unidade de Craqueamento Catalítico Fluido); Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH); fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); tocha (flare); ventilação de gás; processo de desidratação a glicol; e passagens de PIG em linhas.
- **Transporte:** descompressão; fugitivas em componentes de linhas (flanges, conectores, válvulas, selos de bomba e compressor, drenos e outros); ventilação de gás, tocha (flare); gasoduto; flash de metano em tanques; passagem de PIG em linhas; e carga de caminhão/vagão.

1.3. Escopo e estruturação da estimativa de emissões do Setor de Energia

Neste trabalho, o escopo de emissões do “Setor de Energia” está em acordo com aquele recomendado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em suas recomendações para a estimativa de emissões de GEE, bem como com as definições do MCTI. Foram estimadas as emissões anuais a nível nacional, entre 1970 e 2024.

Além disso, quando possível, as emissões foram alocadas nas unidades da federação (UFs), como uma das inovações em relação à primeira versão do SEEG. Este trabalho buscou distribuir as emissões estimadas a nível nacional entre as unidades da federação, obtendo-se uma primeira aproximação para as emissões por UF. No entanto, foram

² Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Categoria Petróleo e Gás Natural (PETROBRAS/MCTI, 2020), parte integrante do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

considerados os dados oficiais disponíveis de maneira agregada em instituições de abrangência nacional e algumas hipóteses simplificadoras foram assumidas. Não se tratou, portanto, de um esforço de inventariar as emissões a partir de informações oficiais de cada UF, de modo que a comparação entre os resultados gerados por esta metodologia e os resultados de inventários oficiais das UFs deve ser feita com muita cautela. No entanto, como muitas UFs ainda não dispõem de inventários, o SEEG pode trazer informações valiosas, tanto pelos resultados que puderam ser gerados quanto pelas dificuldades metodológicas e lacunas de dados que o procedimento de alocação de emissões por UF apontou. Os gases inventariados são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). Quanto às atividades geradoras de emissões, elas abrangem a exploração e extração de fontes primárias de energia; a conversão de fontes primárias em fontes secundárias (refinarias de petróleo, unidades produtoras de biocombustíveis, centrais de geração de energia elétrica etc.) e o uso final de energia em aplicações móveis ou estacionárias. A partir dos métodos de estimativa de emissões e para fins de apresentação dos resultados, definiu-se a seguinte estruturação em 5 níveis:

1. Tipo de emissão: emissões pela queima de combustíveis e emissões fugitivas;
2. Fonte energética: trata-se das **fontes primárias de energia** de cuja produção decorrem emissões e das **fontes de energia para uso final**;
3. Atividade nível 1: são os **setores de consumo final energético** segundo o BEN (exemplos: transportes, indústria, agropecuário), a **geração de eletricidade** ou a **produção de combustíveis**;
4. Atividade nível 2: é um detalhamento do nível anterior;
5. Atividade nível 3: é um detalhamento dos dois níveis anteriores.

A Figura 4 apresenta a estruturação utilizada e os conteúdos de cada campo da estrutura. Também ilustra as ramificações ou combinações que ocorrem para cada elemento ou grupo de elementos.

Tipo de Emissão

Fonte Energética

Atividade - Níveis 1 e 2

Atividade - Nível 3

Emissão Nacional ou Bunker

Emissões Espela Queima de Combustíveis

Emissões Fugitivas

Emissão Nacional

Bunker

Consumo Final Energético

Centrais Elétricas de Serviço Público

Centrais Elétricas Autoprodutoras

Carvoarias

Alcatrão

Coque de Carvão Mineral

Coque de Petróleo

Gás Canalizado RJ

Gás Canalizado SP

Gás de Coqueria

Gás de Refinaria

Gás Natural Seco

Gás Natural Úmido

Gasolina Automotiva

Gasolina C

Gasolina de Aviação

GLP

Nafta

Óleo Combustível

Óleo Diesel

Querosene de Aviação

Querosene Iluminante

Outros Energéticos de Petróleo

Carvão Vapor 3100

Carvão Vapor 3300

Carvão Vapor 3700

Carvão Vapor 4200

Carvão Vapor 4500

Carvão Vapor 4700

Carvão Vapor 5200

Carvão Vapor 5900

Carvão Vapor 6000

Carvão Vapor Sem Especificação

Outras Não Renováveis

Álcool Hidratado

Bagaco de Cana

Biogás

Biomassa

Carvão Vegetal

Lenha

Lixívia

Outras Renováveis

Petróleo e Gás Natural

Petróleo

Gás Natural

Carvão Mineral

Transportes

Aéreo

Hidroviário

Ferrovário

Rodoviário

Geração de eletricidade (Serviço Público)

Agropecuário

Comercial

Público

Residencial

Industrial

Ferro Gusa e Aço

Ferro Ligas

Não Ferrosos e Outros da Metalurgia

Alimentos e Bebidas

Cerâmica

Cimento

Mineração e Pelotização

Papel e Celulose

Química

Têxtil

Outras Indústrias

Produção de Combustíveis

Produção de Álcool

Exploração de Petróleo e Gás Natural

Refino de Petróleo

Transporte de Gás Natural

Produção de Carvão Mineral

Outros (da Produção de Combustíveis)

Produção de Carvão Vegetal

Aeronaves

Embarcações

Locomotivas

Automóveis

Motocicletas

Comerciais Leves

Caminhões

Ônibus

Centrais Elétricas de Serviço Público

Consumo Final Energético

Centrais Elétricas Autoprodutoras

Carvoarias

Destaca-se que no Setor de Energia não são contabilizadas as emissões decorrentes da utilização dos seguintes combustíveis como agente reductor nas indústrias de ferro gusa

e aço, ferroligas, metais não ferrosos e outros da metalurgia: coque de carvão mineral, coque de petróleo³, carvão vapor 5900 e carvão vegetal. Nestas situações, tais combustíveis participam de um processo termorreduzidor, e não de uma simples queima, sendo, portanto, considerados numa outra categoria de estimativa de emissões, a dos Processos Industriais e Uso de Produtos.

No caso dos combustíveis de biomassa (lenha, carvão vegetal, resíduos vegetais, lixo, álcool e bagaço-de-cana, biogás), as emissões de CO₂ não são contabilizadas no Setor de Energia, pois se considera que estas emissões são compensadas pela absorção de CO₂ na fotossíntese que gerou a biomassa, conforme recomendação do IPCC. O mesmo não se aplica aos demais gases de efeito estufa, diretos e indiretos, que são contabilizados normalmente, a exemplo dos combustíveis fósseis.

³ No BEN o consumo de coque de petróleo anterior a 1985 é reportado como consumo de outros energéticos de petróleo, dessa forma, as emissões decorrentes do consumo desse energético nas indústrias de ferro gusa e aço, ferroligas, metais não ferrosos e outros da metalurgia também foi considerado em Processos Industriais e Uso de Produtos.

2. Metodologia de estimativa de emissões

2.1. Emissões nacionais

Neste trabalho, a estimativa das emissões nacionais pela queima de combustíveis pode ser explicada segundo dois métodos gerais, um para o CO₂ e outro para os demais gases (CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM), aplicáveis para o uso de energia nos centros de transformação e para os usos finais de energia, com exceção do transporte rodoviário e do transporte aéreo. Para o transporte rodoviário e o transporte aéreo foram adotados métodos próprios, visto que as estimativas de suas emissões demandam um tratamento de informações mais específicas, como será mostrado adiante.

2.1.1 Emissões de CO₂ pela queima de combustíveis: método geral, abordagem bottom-up

As emissões de CO₂ foram calculadas segundo a abordagem *bottom-up*, relacionando, portanto, os diversos combustíveis queimados aos respectivos setores de uso final de energia e centros de transformação de energia⁴ que os utilizam. As emissões anuais de CO₂ para cada uma das fontes de energia são estimadas a partir da seguinte equação:

$$E_{CO_2} = Cons * \rho_{energia} * Fe_{CO_2}$$

Onde:

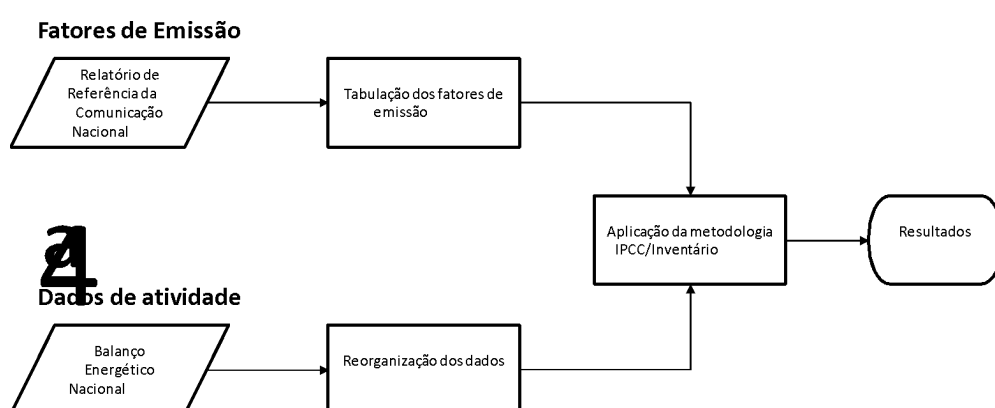
E_{CO_2}	Emissão anual de CO ₂ (kgCO ₂ /ano)
$Cons$	Consumo final energético anual de cada combustível em cada setor, ou quantidade de combustível usada em centros de transformação (unidade comercial/ano)
$\rho_{energia}$	Densidade energética da fonte de energia (TJ/unidade comercial)
Fe_{CO_2}	Fator de emissão de dióxido de carbono por unidade de energia contida na fonte de energia (kgCO ₂ /TJ)

Quanto aos dados de atividade, as variáveis **Cons** e densidade energética ($\rho_{energia}$), a fonte de dados foi o BEN. A variável de atividade chave, **Cons**, é o consumo final energético dos combustíveis e o seu uso em centros de transformação, segundo a classificação adotada no BEN. Os dados foram obtidos da página “Matriz de Balanço Energético”, acessível na

⁴ Os centros de transformação considerados são as centrais elétricas (usinas termelétricas) e as carvoarias.

plataforma Sistema de Informações Energéticas (SIE) do MME⁵. Os fatores de emissão, Fe_{CO_2} , foram obtidos no “Relatório de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial” (MCTI, 2020), publicado no sítio eletrônico do MCTI⁶. Obtidos os dados de atividade e tabulados os fatores de emissão (originados de arquivo PDF), as estimativas foram, então, realizadas, conforme sequência representada pela Figura 5.

Figura 5: Sequência de tratamento dos dados utilizados nas estimativas de emissões de CO₂ pela queima de combustíveis



2.1.2. Emissões de CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM pela queima de combustíveis: método geral

Diferentemente das emissões de CO₂, que podem ser estimadas com precisão razoável a partir apenas de algumas propriedades dos combustíveis, as emissões de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM) dependem da forma como a combustão é realizada. Então, para estimar tais emissões, são identificadas, em primeiro lugar, a finalidade de uso dos combustíveis dentre as seguintes classes: prover calor de processo, força motriz, aquecimento direto ou iluminação. Em seguida, dentro dessas classes, são identificadas as tecnologias utilizadas, dentre estas: aquecedores, caldeiras, motores, fornos e secadores. Tais etapas configuram os “coeficientes de destinação” dos combustíveis, conforme a equação a seguir:

$$E_{bijk}^{n-CO_2} = Fe_{bijk}^{n-CO_2} * C_{bi} * f_{bij} * g_{ijk}$$

⁵ Disponível em: https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/visor_reportes_be.aspx?or=520&ss=2&v=1.

⁶ Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/publicacao/index.html>.

Onde:

$E_{bijk}^{n-CO_2}$	Emissão do gás proveniente do consumo do combustível b, no setor i, no uso final j, utilizando a tecnologia k
$Fe_{bijk}^{n-CO_2}$	Fator de emissão associado ao consumo do combustível b, no setor i, no uso final j, utilizando a tecnologia k
C_{bi}	Consumo de combustível b no setor i
f_{bij}	Coeficiente de destinação de uso final do combustível b, consumido no setor i, para atender ao uso final j
g_{ijk}	Coeficiente de destinação da tecnologia, que representa a fração, no setor i, para o uso final j, que é atendida pela tecnologia k

Assim, como no caso das estimativas de emissões de CO₂, a fonte de dados para a variável consumo de combustível (*C*) foi o BEN.

Quanto aos coeficientes de destinação de uso final (*f*), foram utilizados aqueles apresentados pela última edição do Balanço de Energia Útil (BEU), publicado pelo MME em 2005⁷. O BEU apresenta estes coeficientes para os anos de 1983, 1993 e 2003 apenas. As seguintes simplificações foram realizadas para se obter valores para o restante do período entre 1970 e o último ano das estimativas:

- Para os períodos de 1984 a 1992 e 1994 e 2002, os coeficientes foram obtidos a partir de interpolações lineares considerando-se os dados disponíveis para os anos de 1983, 1993 e 2003;
- Entre os anos de 1970 e 1982 assumiu-se para os coeficientes os mesmos valores que para o ano de 1983;
- Para o período compreendido entre 2004 e último ano das estimativas, assumiu-se para os coeficientes os mesmos valores que os utilizados para o ano de 2003.

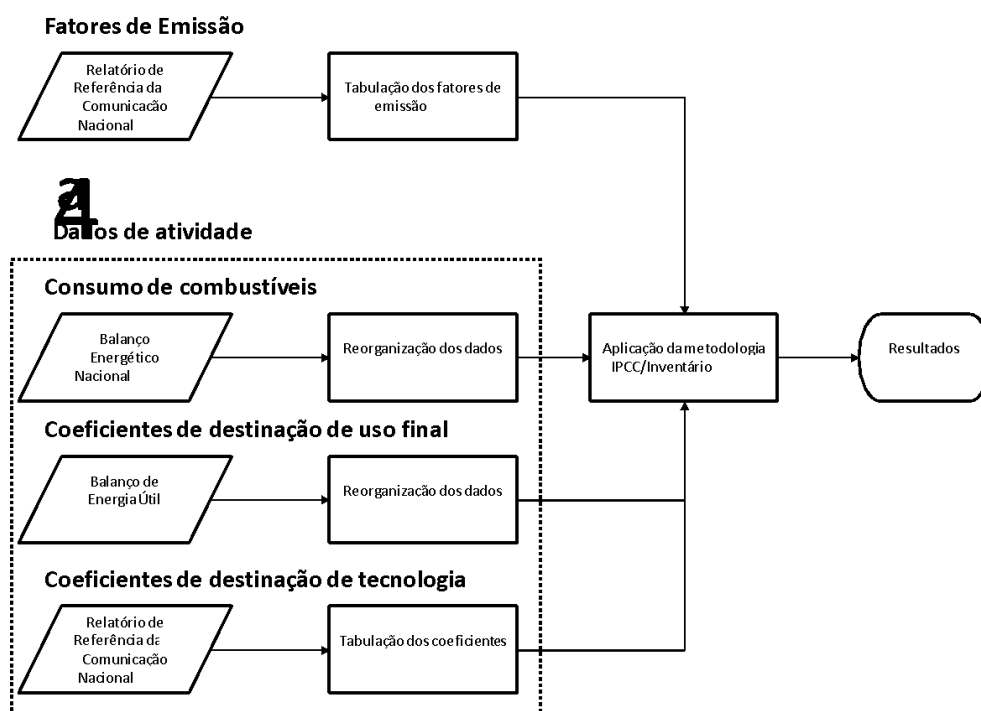
Quanto aos coeficientes de destinação da tecnologia (*g*), a fonte de dados foi o documento “Relatório de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial” (MCTI, 2020). Na indisponibilidade de informações atualizadas para o período de 2011 até o último ano das estimativas, assumiu-se que tanto os coeficientes de destinação de uso final quanto os de destinação de tecnologia não sofreram mudança, sendo utilizados os valores de 2004, no caso do uso, e 2010, no caso da tecnologia. Os fatores de emissão em kg_{gás}/TJ também foram obtidos do documento “Relatório de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções

⁷ Coeficientes disponíveis em planilhas eletrônicas em:
<http://www.feng.pucrs.br/~eberson/13.03/CoeficientesdeDestinacao>

Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial” (MCTI, 2020).

Uma vez obtidos os dados de consumo de combustível e os coeficientes de destinação de uso final, e tabulados os fatores de emissão e os coeficientes de destinação da tecnologia (originados de arquivo PDF), as estimativas foram realizadas conforme sequência representada pela Figura 6.

Figura 6: Sequência de tratamento dos dados utilizados nas estimativas de emissões de CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM



2.1.3. Emissões pela queima de combustíveis no transporte rodoviário

Uma vez que o BEN apresenta o consumo de energia no transporte rodoviário discriminado apenas conforme o tipo de combustível, ele não permite estimar as emissões por categorias de veículos se fossem utilizados apenas os métodos gerais apresentados nas seções 2.1.1 e 2.1.2. Além disso, a estimativa de emissões veiculares de CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM deve levar em conta especificidades bastante importantes, como a evolução tecnológica dos motores, o perfil de uso dos veículos segundo o tipo e a idade, e a deterioração das emissões ao longo do uso dos veículos.

Dada a importância apresentada pelo transporte rodoviário no conjunto das emissões, optou-se por utilizar os resultados apresentados no “Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-Base 2012”, publicado pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA) em 2014.

Nesse Inventário foram estimadas as emissões atmosféricas por veículos automotores em todo o território nacional, desde 1980 até 2012. Entre outras, são estimadas as emissões

dos poluentes regulamentados pelo PROCONVE e pelo PROMOT – que incluem CO, NO_x, hidrocarbonetos não metano (NMHC) e aldeídos (RCHO)⁸ –, além dos GEE – CO₂, CH₄ e N₂O.

Por sua extensão e teor de detalhes, não serão descritos todos os procedimentos metodológicos deste Inventário, porém a metodologia utilizada está condizente com a metodologia Tier 2 do IPCC.

No entanto, pode-se destacar duas equações gerais utilizadas na metodologia do Inventário do MMA. Em primeiro, o cálculo do consumo de combustível, variável-chave para o cálculo das emissões de CO₂⁹. Para cada categoria de veículos da frota circulante, num determinado ano-calendário, o consumo de combustível é estimado a partir da seguinte equação:

$$C_i = Fr_i \times Iu_i \div Ql_i$$

Onde:

C_i	Consumo anual de combustível do veículo do tipo i (L/ano)
Fr_i	Frota em circulação no ano do veículo do tipo i (número de veículos)
Iu_i	Intensidade de uso do veículo do tipo i, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano)
Ql_i	Quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo i (km/L)

Vale ressaltar que o consumo de combustível estimado pelo Inventário é ajustado, para cada tipo de combustível, de acordo com os valores apresentados pelo BEN na categoria de consumo de combustíveis no transporte rodoviário, a partir da aplicação de fatores de correção anuais sobre a variável intensidade de uso. Dessa forma, a soma das emissões estimadas para cada tipo de veículo coincide com as emissões associadas ao consumo total de combustíveis no transporte rodoviário quando estas últimas são calculadas segundo a metodologia geral para estimativa de CO₂ pela queima de combustíveis descrita na seção 2.1.1.

Em segundo, para cada categoria de veículos da frota circulante, num determinado ano calendário, para cada poluente e ano modelo de veículo, as emissões de escapamento são estimadas a partir da seguinte equação:

$$E = C \times Iu \times Fe$$

⁸ Nesse trabalho, considerou-se que as emissões somadas de hidrocarbonetos não metano (NMHC) e aldeídos (RCHO) representam as emissões de compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM).

⁹ O Inventário publicado pelo MMA em 2014 utilizava fatores de emissão de CO₂ publicados nos relatórios de referência do 2º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. As estimativas associadas ao transporte rodoviário apresentadas na atual versão do SEEG utilizam a metodologia apresentada em MMA, 2014, porém os fatores de emissão de CO₂ empregados foram aqueles apresentados no documento "Relatório de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial" (MCTI, 2020).

Onde:

<i>E</i>	Taxa anual de emissão do poluente considerado (g/ano)
<i>Fe</i>	Fator de emissão do poluente considerado, expresso em termos da massa de poluentes emitida por km percorrido ($g_{\text{poluente}}/\text{km}$). É específico para o ano modelo de veículo considerado e depende do tipo de combustível utilizado.
<i>C</i>	Consumo de combustível pela frota circulante de veículos do ano modelo considerado (L).
<i>Iu</i>	Quilometragem por litro de combustível do veículo do tipo <i>i</i> (km/L)

2.1.4. Emissões pela queima de combustíveis no transporte aéreo

As estimativas de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O pelo transporte aéreo foram efetuadas de acordo com a metodologia geral descrita na seção 2.1.1 e 2.1.2.

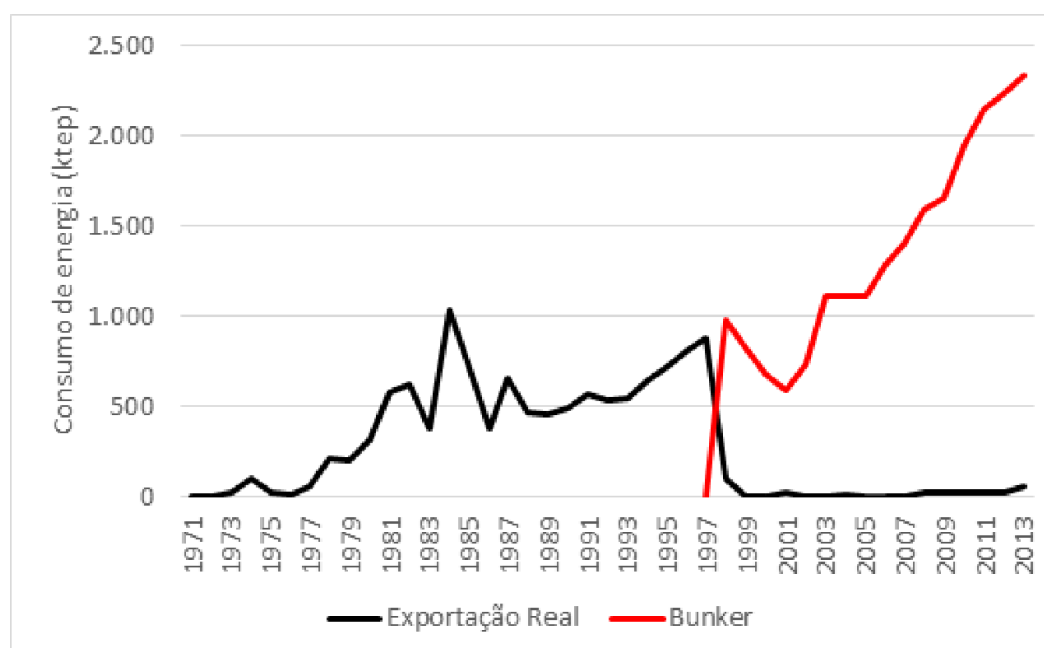
No entanto, o mesmo não foi feito para estimar as emissões de CO, NO_x e COVM. Para essas, foram utilizados os dados do Relatório de Referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Categoria Aviação Civil (MCTI, 2020). Tal Inventário compreende o período de 1990 a 2016, e chega a apresentar um nível de detalhe correspondente à abordagem Tier 3A do IPCC, para os gases CO, NO_x e COVM. As emissões de 1970 a 1989 desses três gases foram calculadas a partir dos dados de consumo de combustível do BEN e de um fator de emissão implícito obtido através da associação do consumo de combustível contido no BEN para o ano de 1990 e a emissão correspondente ao mesmo ano para o respectivo gás. A utilização desse fator para os anos anteriores a 1990 resultaram nas emissões estimadas. De forma análoga, foram obtidas as emissões para os anos posteriores a 2016.

A partir da versão 2014 do SEEG, passaram a ser estimadas as emissões relacionadas ao consumo de combustível na aviação internacional (bunker). Nesse caso, o método acima exposto se mantém, porém, efetuando-se uma modificação quanto à série histórica de consumo internacional de querosene de aviação (QAv) apresentada nas matrizes detalhadas do BEN¹⁰, alterando os valores reportados como “exportação real” para “bunker” antes de 1998. A motivação para essa modificação pode ser melhor visualizada na Figura 7, a partir da qual julgou-se adequado realizar tal correção. Esta mostra o comportamento das séries históricas reportadas nas matrizes completas do BEN para o QAv “bunker”, que se inicia em 1998, e o decréscimo abrupto do QAv classificado como “exportação real”, também em 1998. Avaliamos que tal comportamento seria improvável e, portanto, para os anos anteriores a 1998, no BEN, supomos que o consumo de querosene

¹⁰ Disponível em: https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/visor_reportes_be.aspx?or=520&ss=2&v=1.

de aviação como bunker foi classificado como “exportação real”, e que neste período a exportação real do combustível poderia ser considerada desprezível. Feito isto, a estimativa de emissões foi realizada utilizando-se a mesma equação referente aos demais cálculos de emissões pelo transporte aéreo exposta acima.

Figura 7 – Comparação das séries históricas entre Exportação Real e Bunker para querosene de aviação, segundo as matrizes 49x47 do BEN



2.1.5. Emissões fugitivas de CH₄ na extração de carvão mineral

Aplicou-se a metodologia utilizada no 4º Inventário Brasileiro, publicado pelo MCTI¹¹, para estimar as emissões de CH₄ associadas à mineração do carvão, conforme a seguinte equação:

$$E_{CH_4} = \sum_m \sum_u (P_{m,u} \times Fe_m)$$

Onde:

E_{CH_4}	Emissão anual de CH ₄ (toneladas/ano)
$P_{m,u}$	Produção de carvão ROM na unidade da federação u, e perfil de mina de carvão m (toneladas)

¹¹ “Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Mineração e Manejo do Carvão Mineral”.

Fe_m

Fator de emissão de CH₄ por tonelada de carvão produzido, por tipo de mina de carvão m (toneladas de CH₄/toneladas de carvão)

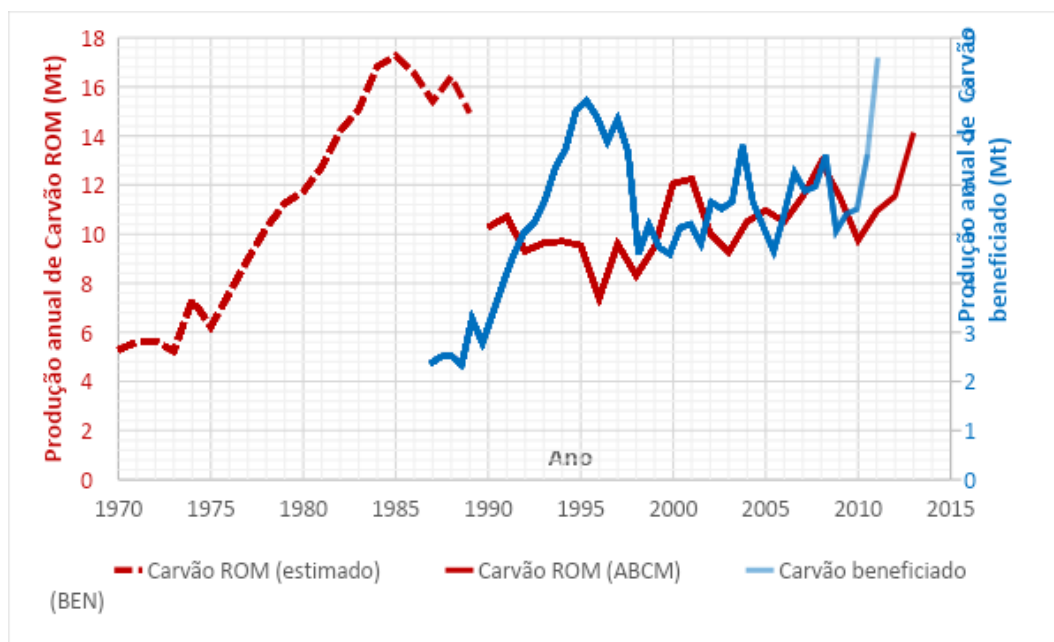
Os dados de produção anual de Carvão ROM para o período entre 1980 e 1989 podem ser obtidos da Associação Brasileira de Carvão Mineral (ABCM). Para os anos entre 1990 e 2016, os dados são reportados no relatório de referência do 4º Inventário Brasileiro. Os dados entre 2017 e o último ano das estimativas podem ser obtidos diretamente do site da ABCM, como mostra a tabela

Tabela 1: Produção de carvão ROM (mil toneladas) por unidade da federação

UF \ Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Paraná	315,1	272,5	268,0	340,0	209,7	207,2	390,2	301,6	152,5	121,8	283,8	350,71	69,25
Santa Catarina	6.053,1	7.615,1	6.940,1	6.316,8	5.986,1	6.352,6	6.467,3	5.518,8	5.614,3	5.992,8	6.152,4	5.744,21	5.773,53
Rio Grande do Sul	4.432,3	6.109,8	6.335,2	6.259,7	4.840,6	3.620,0	3.626,3	3.613,5	3.391,6	5.956,3	5.092,7	4.184,86	3.789,13

Para estimar a produção anual de carvão ROM referente aos anos 1970 a 1979, utilizaram-se esses dados da ABCM e os valores da produção de carvão beneficiado encontrados no BEN, assumindo mantida constante a razão entre a produção de carvão ROM e carvão beneficiado no ano 1980. A Figura 8 ilustra as séries históricas de produção de carvão ROM – reportada pela ABCM e estimada neste trabalho –, bem como a série histórica de produção de carvão beneficiado reportada no BEN.

Figura 8: Produção nacional de carvão ROM e produção nacional de carvão beneficiado



Para atualização das emissões, assumiu-se que o perfil da produção das minas de carvão por unidade da federação se manteve inalterado a partir de 2016, último ano com informações disponíveis no documento “Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Mineração e Manejo do Carvão Mineral” (MCTI, 2020). A Tabela 2 mostra os valores adotados.

Tabela 2: Perfil da produção das minas de carvão, por unidade da federação em 2016

UF \ Tipo de mina	Minas Subterrâneas (SS)	Minas a Céu Aberto (CA)
Paraná	100%	0%
Santa Catarina	97%	3%
Rio Grande do Sul	0%	100%

Os fatores de emissão de CH₄ também foram obtidos do 4º Inventário Brasileiro, publicado pelo MCTI, sendo: 10,90 m³ de CH₄ por tonelada de carvão para minas subterrâneas e 1,30 m³ de CH₄ por tonelada de carvão para minas a céu aberto. A densidade adotada para o metano foi de 670 g/m³.

2.1.6. Emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás natural

Para os anos de 1990 a 2016, as emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás natural foram retiradas diretamente do 4º Inventário Brasileiro¹². Já para estimar emissões fugitivas de petróleo e gás natural referentes a anos anteriores a 1990 e posteriores a 2016, foram utilizados fatores implícitos, pois a metodologia adotada no 4º Inventário demanda dados de atividade que não estão atualmente disponíveis de forma pública. Esses fatores foram calculados relacionando as emissões de 1990 ou 2016 (primeiro e último ano com emissões disponíveis) pelas respectivas taxas de atividade mais representativas da indústria de petróleo e gás natural: (a) produção de petróleo e LGN em ktep para emissões relacionadas a exploração e produção; (b) refino de petróleo, LGN, óleo de xisto e outras não renováveis em ktep para emissões relacionadas ao refino de petróleo ou processamento de gás natural; e (c) participação das emissões de transporte em relação ao total emitido nas atividades de produção e refino.

¹² "Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Categoria Petróleo e Gás Natural" (MCTI, 2020).

2.2. Alocação de emissões por Unidades da Federação

Como uma das inovações em relação à primeira versão do SEEG, este trabalho buscou distribuir as emissões estimadas a nível nacional entre as unidades da federação. Foi obtida uma primeira aproximação para as emissões por UF, considerando-se os dados oficiais disponíveis de maneira agregada em instituições de abrangência nacional. Algumas hipóteses simplificadoras também foram assumidas, mas ainda assim uma parcela significativa das emissões nacionais não pôde ser alocada por falta de informações confiáveis. Não se tratou, portanto, de um esforço de inventariar as emissões a partir de informações oficiais de cada UF, de modo que a comparação entre os resultados gerados por esta metodologia e os resultados de inventários oficiais das UFs deve ser feita com muita cautela. No entanto, como muitas UFs ainda não dispõem de inventários, o SEEG pode trazer informações valiosas, tanto pelos resultados que puderam ser gerados quanto pelas dificuldades metodológicas e lacunas de dados que o procedimento de alocação de emissões por UF apontou. Para as estimativas de emissões fugitivas na extração de carvão mineral a nível nacional, a metodologia empregada já parte das emissões por UF. Os dados para a estimativa das emissões nacionais provêm de valores de produção e fatores de emissão já desagregados conforme as UFs, segundo exposto nos itens 2.1.5. Para a alocação das emissões pela queima de combustíveis e das emissões fugitivas na indústria de petróleo e gás, foi utilizada a equação abaixo:

$$e_{g,s,c,e,i} = f_{s,c,e,i} \times E_{g,s,c,i}$$

Sendo:

$e_{g,s,c,e,i}$	Emissão referente ao gás g no setor s do combustível c no Estado e no ano i ($\text{kg}_{\text{gás}}$)
$f_{s,c,e,i}$	Fator de alocação do combustível c no setor s no Estado e no ano i (%)
$E_{g,s,c,i}$	Emissão nacional do gás g no setor s do combustível c no ano i ($\text{kg}_{\text{gás}}$)

Em geral, para as emissões por queima de combustíveis, o fator de alocação é a razão entre o consumo de um determinado combustível nas UFs e o consumo do mesmo em âmbito nacional. Tais consumos foram obtidos ou estimados através de diversas fontes a depender do combustível, do setor e do ano considerados, conforme a Tabela 3¹³. Apenas para o caso da Produção de combustíveis, foram tomados outros dados de atividade como referência para a distribuição das emissões: (i) a carga processada em refinarias¹⁴ e (ii) a

¹³ Na tabela as siglas OEP, ONR e OR se referem a Outros Energéticos de Petróleo, Outras Não Renováveis e Outras Renováveis, respectivamente.

¹⁴ Informações disponíveis nos Dados Estatísticos Mensais publicados pela ANP: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>.

produção anual de petróleo e gás natural¹⁵. Estas duas variáveis foram usadas também para alocar as emissões fugitivas associadas à indústria de petróleo e gás natural.

¹⁵ Informações disponíveis nos Anuários Estatísticos da ANP.

Tabela 3: Alocação de emissões por UF: fontes de informação

				1970 e 1971	1972 a 1979	1980	1981	1982 a 1989	1990	1991 a 1997	1998	1999	2000	2001 a 2004	2005	2006	2007 a 2012	2013 a 2024
Emissões pela Queima de Combustíveis	Alcatrão	(Todos)	(Todos)															
	Álcool Hidratado	Transportes	Rodoviário											MME/ANP				
	Bagaço de Cana, Biogás e Biomassa	(Todos)	(Todos)															
	Carvão Metalúrgico e Carvão Vapor	Geração de Eletricidade (CESP)	-												MME/ANP			
		(Demais setores)	(Demais setores)															
	Carvão Vegetal	(Todos)	(Todos)															
	Coque de Carvão Mineral	(Todos)	(Todos)															
	Coque de Petróleo	(Todos)	(Todos)												MME/ANP			
	Gás Canalizado (SP e RJ)	(Todos)	(Todos)															
	Gás de Coqueria	(Todos)	(Todos)															
		Produção de Combustíveis	Refino de petróleo															
	Gás de Refinaria	Industrial	Química															
		(Demais setores)	(Demais setores)															
	Gás Industrial	Industrial	(Todos)															
		Geração de Eletricidade (CESP)	-												MME/ANP			
		Produção de Combustíveis	Exploração de petróleo															
		Comercial	-															
	Gás Natural	Público	-															
		Residencial	-															
		Transportes	Rodoviário															
		Industrial	(Todos)															
		(Demais setores)	(Demais setores)															
	Gasolina Automotiva	Transportes	Rodoviário												MME/ANP			
	Gasolina C	Transportes	Rodoviário												MME/ANP			
	Gasolina de Aviação	Transportes	Aéreo												MME/ANP			
		Industrial	(Todos)															
	GLP	Produção de Combustíveis	Refino de petróleo															
		(Demais setores)	(Demais setores)															
	Lenha e Lixívia	(Todos)	(Todos)															
	Lubrificantes e Nafta	(Todos)	(Todos)															
		Industrial	(Todos)															
		Produção de Combustíveis	Refino de petróleo															
	Óleo Combustível		(Demais setores)															
		Transportes	Hidroviário															
		(Demais setores)	(Demais setores)															
		Industrial	(Todos)															
		Produção de Combustíveis	Exploração de petróleo															
	Óleo Diesel		(Demais setores)															
		(Demais setores)	(Demais setores)															
	OEP, ONR e OR	(Todos)	(Todos)															
	Querosene de Aviação	Transportes	Aéreo															
	Querosene Iluminante	(Todos)	(Todos)															
Emissões Fugitivas	Petróleo e Gás Natural	Produção de Combustíveis	Exploração de Petróleo e Gás Natural															
	Petróleo	Produção de Combustíveis	Refino de Petróleo															
	Gás Natural	Produção de Combustíveis	Transporte de Gás Natural															
	Carvão Mineral	Produção de Combustíveis	Produção de Carvão Mineral															

OEP: Outros Energéticos de Petróleo
ONR: Outras Não Renováveis
OR: Outras Renováveis

Na Tabela 3 as fontes de informação listadas como MME/ANP correspondem ao agrupamento de três fontes distintas de dados:

- Conjunto de planilhas contendo dados de vendas estaduais de combustíveis disponibilizadas pelo MME em sua plataforma SIE¹⁶, na seção “Estados – Vendas de Derivados de Petróleo pelas Distribuidoras”
- Conjunto de planilhas disponibilizadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) mediante solicitação do IEMA;
- Nota Técnica COBEN (MME, 1988): a harmonização entre os setores de consumo apresentados nos dados estaduais e disponíveis BEN foi realizada conforme exposto neste documento¹⁷.

A fonte de informação listada como ABEGÁS na Tabela 3 corresponde a dados de consumo de gás natural seco publicados no site¹⁸ da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado. A fonte de informação listada como ABEGÁS/Patusco corresponde a dados de consumo da ABEGÁS e da base de dados elaborada para a publicação Energia e desenvolvimento (Patusco, J. A. M).

¹⁶ Disponível em:

<https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/reporte-dato42-jerarquizado.aspx?oc=30108&or=30109&ss=1&v=1>.

¹⁷ Alguns fatores de correspondência entre os setores de consumo foram atualizados conforme sugestões do MME, via comunicação pessoal.

¹⁸ Disponível em: <https://www.abegas.org.br/estatisticas-de-consumo>.

3. Diferenças entre as versões do SEEG

3.1 Diferenças do SEEG 2014 em relação ao SEEG 2013

Em relação ao escopo, a série histórica de emissões estimadas foi expandida para o período compreendido entre 1970 e 2013, diferindo do SEEG 2013 que se restringia ao período de 1990 a 2012. Além disso, quando possível, as emissões foram alocadas nas UF's, obtendo-se uma primeira aproximação para as emissões por UF. Vale lembrar que foram considerados apenas os dados oficiais disponíveis de maneira agregada em instituições de abrangência nacional e que algumas hipóteses simplificadoras foram assumidas¹⁹.

Destacam-se as seguintes diferenças metodológicas e de dados de entrada em relação ao SEEG 2013, em linha com as modificações realizadas nos relatórios de referência do 3º Inventário Brasileiro (MCTI, 2014):

- Foram removidas do Setor de Energia as emissões decorrentes da utilização dos seguintes combustíveis como agente redutor, nas indústrias de ferro gusa e aço, ferroligas, metais não ferrosos e outros da metalurgia: coque de carvão mineral, coque de petróleo, carvão vapor 6000, carvão vapor 5900 e carvão vegetal. Essas emissões passaram a ser contabilizadas em Processos Industriais e Uso de Produtos;
- Foram removidas do Setor de Energia as emissões consequentes do Consumo Final Não-Energético, por não se tratar de queima de combustível. Essas emissões passaram a ser contabilizadas em Processos Industriais e Uso de Produtos;
- Foram removidas do Setor de Energia as emissões do consumo de "gás industrial" por este se tratar de um aproveitamento energético que não é queima de combustível;
- O cálculo de emissões de CO₂ foi alterado, passando a ser efetuado diretamente com fatores de emissão na unidade kgCO₂/TJ;
- Alguns fatores de emissão, tanto de CO₂ quanto dos demais gases, sofreram modificações.

Ademais, foram feitas as seguintes alterações:

- Foram calculadas as emissões referentes ao transporte internacional (bunker), aéreo e marítimo, diferentemente do SEEG 2013 no qual as mesmas não eram estimadas;

¹⁹ Não se tratou, portanto, de um esforço de inventariar as emissões a partir de informações oficiais de cada UF, de modo que a comparação entre os resultados gerados por esta metodologia e os resultados de inventários oficiais das UF's deve ser feita com muita cautela.

- Foram modificados os métodos e dados empregados para as estimativas de emissões de CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM do transporte aéreo, o qual passou a tomar como base o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil (ANAC, 2014);
- As emissões da geração de energia elétrica nas centrais elétricas autoprodutoras passaram a ser detalhadas nos setores de consumo;
- Dentro do nível Produção de Combustíveis, anteriormente chamado de Setor Energético, houve desagregação em níveis mais detalhados (exemplos: refino de petróleo, produção de álcool etc.);
- Os valores de consumo final energético reportados para as fontes carvão metalúrgico nacional e importado em versões anteriores do BEN passaram a ser reportados, na última versão do BEN (2014), como carvão vapor 6000. Em decorrência disso, as emissões associadas ao carvão metalúrgico também foram reclassificadas.

3.2 Diferenças do SEEG 2015 em relação ao SEEG 2014

Em relação ao SEEG 2014, esta versão não sofreu alterações no que diz respeito ao seu escopo temporal ou detalhamento espacial. Destacam-se as seguintes diferenças metodológicas entre as duas versões:

- Foram removidas do Setor de Energia as emissões decorrentes da utilização de outros energéticos de petróleo na indústria de metais não ferrosos e outros da metalurgia entre 1970 e 1984, uma vez que elas se referem ao consumo de coque de petróleo como agente redutor e, portanto, devem ser contabilizadas apenas em Processos Industriais e Uso de Produtos;
- As emissões do transporte rodoviário foram recalculadas para todos os anos aplicando-se a metodologia do **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012 (MMA, 2014)**, porém, utilizando-se os fatores de emissão de CO₂ apresentados no relatório **Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem *Bottom-Up* - Relatório de Referência - Anexo metodológico** (MCTI, 2014);
- A alocação nas UF's das emissões decorrentes do consumo de gás natural seco entre 2007 e 2014 nos setores comercial, público, residencial e transportes (rodoviário) foi feita a partir de fatores elaborados por meio de informações levantadas na página da ABEGÁS (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado);
- A alocação nas UF's das emissões decorrentes do consumo de gás natural seco entre 2007 e 2014 na indústria foi feita a partir de fatores elaborados por meio de informações levantadas junto à base de dados elaborada para a publicação **Energia e desenvolvimento (Patusco, J. A. M)**;

3.3 Diferenças do SEEG 2023 em relação ao SEEG 2024

Em relação às versões anteriores do SEEG, as estimativas de emissões de metano associadas ao uso residencial de lenha passaram a incorporar uma nova abordagem de alocação espacial por unidade da federação. Anteriormente, as emissões eram distribuídas de forma agregada no setor residencial, sem diferenciação geográfica entre os estados.

Nesta versão, foi implementada uma regionalização das emissões com base na integração de duas bases de dados públicas: (i) o número de domicílios que utilizam lenha como principal fonte energética para cocção, obtido a partir das **Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios (PNAD/IBGE)**, e (ii) o consumo final energético de lenha no setor residencial, conforme reportado no **Balanço Energético Nacional (BEN/EPE)**. Adicionalmente, utilizou-se o consumo específico de lenha por domicílio apresentado na nota técnica **“Consumo de Lenha e Carvão Vegetal – Setor Residencial – Brasil 2021” (EPE)** para estimar um coeficiente médio de consumo por domicílio.

A partir dessa integração, o consumo total de lenha no setor residencial passou a ser alocado proporcionalmente entre as UFs de acordo com o número de domicílios usuários do energético, permitindo uma distribuição espacial mais representativa das emissões de metano associadas ao uso precário de lenha para cocção e ampliando a capacidade do SEEG de apoiar o diagnóstico regional e a formulação de políticas públicas de mitigação.

4. Qualidade dos dados

Dada a complexidade dos cálculos necessários para consolidar o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG – e devido à opção de usar apenas dados disponíveis de forma pública e gratuita, considerou-se necessário divulgar uma avaliação da qualidade dos dados. Assim, qualquer usuário ou leitor pode aferir a confiabilidade de cada cálculo e eventualmente contribuir para aumentar a robustez dos dados.

São três avaliações de qualidade dos dados: (A) qualidade das estimativas nacionais no ano mais recente (2024); (B) qualidade da alocação dos dados por estados e (C) qualidade das estimativas no período histórico (1970 a 2024). As seguintes legendas foram utilizadas:

Legenda para Análise de Qualidade das ESTIMATIVAS NACIONAIS 1990

Aspecto	Valores
TIER	1 Tier 1 do IPCC - fatores globais 2 Tier 2 do IPCC - fatores nacionais ou regionais 3 Tier 3 do IPCC - fatores específicos por planta
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 2o inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados. 2 dados incompletos 3 dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 dados disponíveis de forma pública e gratuita 2 dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica) 3 dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 fator explícito, com referência 2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7 3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7
NECESSIDADE DE APRIMORAMENTO	1 sem necessidade de aprimoramento 2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo 3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DO DADO	1 dado confiável, capaz de reproduzir 2o inventário 2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas 3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

Legenda para Análise de Qualidade da ALOCAÇÃO DE EMISSÕES POR ESTADOS

Aspecto	Valores
OCORRÊNCIA DE ALOCAÇÃO	1 Alocação possível de toda emissão nacional nos estados (não fica resíduo/montante não alocado) 2 Alocação parcialmente possível. Parte das emissões nacionais não foi alocada. 3 Alocação para os estados não foi possível
CRITÉRIO DE ALOCAÇÃO	1 Critério de alocação está diretamente relacionado com os fatores de emissão 2 Critério de alocação usa fatores indiretos com alta correlação com os fatores diretos. 3 Critério de alocação usa fatores indiretos com baixa correlação com fatores diretos.
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 2o inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados. 2 dados incompletos 3 dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 dados disponíveis de forma pública e gratuita 2 dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica) 3 dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 fator explícito, com referência 2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7 3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7
NECESSIDADE DE APRIMORAMENTO	1 sem necessidade de aprimoramento 2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo 3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DA ALOCAÇÃO	1 dado confiável, capaz de reproduzir 2o inventário 2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas 3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

Legenda para Análise de Qualidade das Estimativas do Período Pré-Inventário de Emissões 1970-1989

Aspecto	Valores
QUALIDADE RELATIVA DO DADO HISTÓRICO	1 Dado de atividade existente/disponível para o respectivo ano e fator de emissão adequado para época 2 Dados de atividades estimados pelo projeto ou correlação com outros dados [e/ou] fatores de emissão inadequados para época 3 Dados de atividades estimados e fatores de emissão inadequados

Tabela 4: Quadro de Qualidade das estimativas nacionais em 2024

Setor/ Sub-Setor / Categorias	Tier			Nível de Atividade		Fator de Emissão	Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral do Dado	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
	3º Inventário	4º Inventário	SEEG	Existência do Dado	Disponibilidade do Dado							
ENERGIA									17,68%	423.666.229	99,4%	99,4%
Emissões pela Queima de Combustíveis												
Agropecuário	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,94%	22.560.278	5,3%	5,3%
Comercial	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,11%	2.752.046	0,6%	0,6%
Geração de Eletricidade (Serviço Público)	ND	2	2	1	1	1	1	1	1,10%	26.390.720	6,2%	6,2%
Industrial	ND	2	2	1	1	1	1	1	2,86%	68.578.606	16,2%	16,2%
Produção de Combustíveis	ND	2	2	1	1	1	1	1	1,38%	33.167.503	7,8%	7,8%
Público	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,04%	862.098	0,2%	0,2%
Residencial	ND	2	2	1	1	1	1	1	1,12%	26.791.626	6,3%	6,3%
Transportes												
Aéreo	ND	3	3	1	1	1	1	1	0,73%	17.417.723	4,1%	4,1%
Ferrovário	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,15%	3.478.692	0,8%	0,8%
Hidroviário	ND	2	2	1	1	1	1	1	0,57%	13.589.724	3,2%	3,2%
Rodoviário	3	ND	3	1	1	1	1	1	8,52%	204.075.957	48,2%	48,2%
Emissões fugitivas												
Extração de carvão mineral: CH ₄	ND	1	1	1	1	1	1	1	0,1%	1.250.799	0,3%	0,3%
Industrial de petróleo e gás natural	ND	ND	ND	1	3	3	3	3	0,8%	19.877.109	0,0%	0,0%

Tabela 5: Quadro de Qualidade das estimativas nacionais entre 1970 e 2024

Sector/ Sub-Sector / Categorias	1970-1989	1990-2016	2017-2024	Qualidade Geral do Dado	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP) em todo período	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
ENERGIA					2%	423.666.229	99,4%	99,4%
Emissões pela Queima de Combustíveis								
Agropecuário	1	1	1	1	0,096%	22.560.278	5,33%	5,33%
Comercial	1	1	1	1	0,012%	2.752.046	0,65%	0,65%
Geração de Eletricidade (Serviço Público)	1	1	1	1	0,112%	26.390.720	6,23%	6,23%
Industrial	1	1	1	1	0,291%	68.578.606	16,19%	16,19%
Produção de Combustíveis	1	1	1	1	0,141%	33.167.503	7,83%	7,83%
Público	1	1	1	1	0,004%	862.098	0,20%	0,20%
Residencial	1	1	1	1	0,113%	26.791.626	6,32%	6,32%
Transportes								
Aéreo	1	1	1	1	0,074%	17.417.723	4,11%	4,11%
Ferroviário	1	1	1	1	0,015%	3.478.692	0,82%	0,82%
Hidroviário	1	1	1	1	0,058%	13.589.724	3,21%	3,21%
Rodoviário	1	1	1	1	0,864%	204.075.957	48,17%	48,17%
Emissões fugitivas					0,000%			
Extração de carvão mineral: CH4	2	1	1	1	0,005%	1.250.799	0,30%	0,30%
Indústria de petróleo e gás natural	3	1	3	3	0,084%	19.877.109	0,00%	0,00%

Tabela 6: Quadro de Qualidade dos Dados de Alocação nas UFs em 2024

Setor/ Sub-Sector / Categorias	Ocorrência de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade		Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral da Alocação	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
			Existência do Dado	Disponibilidade do Dado						
ENERGIA							18%	423.666.229	0,3%	79,2%
Emissões pela queima de combustíveis										
Alcatrão	3	n/a	2	3	2	n/a	0,01%	306.272	0,00%	0,00%
Alcool anidro	1	2	2	1	2	2	0,04%	854.521		
Alcool hidratado	1	2	2	1	2	2	0,05%	1.109.987	0,00%	0,26%
Bagaço de Cana	3	n/a	2	3	2	n/a	0,12%	2.974.549	0,00%	0,00%
Biodiesel	1	2	2	1	2	2	0,01%	350.253		
Biogás	3	n/a	2	3	2	n/a	0,00%	1.057	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3100	2	3	2	3	2	3	0,00%	7.330	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3300	2	3	2	3	2	3	0,00%	16.483	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3700	3	n/a	2	3	2	n/a	0,00%	57.016	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 4200	2	3	2	3	2	3	0,01%	335.507	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 4500	2	3	2	3	2	3	0,00%	108.116	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 4700	2	3	2	3	2	3	0,02%	408.776	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 5200	2	3	2	3	2	3	0,00%	44.493	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 5900	2	3	2	3	2	3	0,00%	-	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 6000	2	3	2	3	2	3	0,18%	4.345.086	0,00%	0,00%
Carvão Vapor Sem Especificação	2	3	2	3	2	3	0,00%	-	0,00%	0,00%
Carvão Vegetal	3	n/a	2	3	2	n/a	0,01%	190.351	0,00%	0,00%
Coque de Carvão Mineral	3	n/a	2	3	2	n/a	0,02%	503.242	0,00%	0,00%
Coque de petróleo	2	2	2	2	2	2	0,59%	14.099.026	0,00%	3,33%
Diesel de petróleo	1	2	2	1	2	2	6,66%	159.649.853	0,00%	37,68%
Gás Canalizado RJ	1	1	1	1	1	1	0,00%	-	0,00%	0,00%
Gás Canalizado SP	1	1	1	1	1	1	0,00%	-	0,00%	0,00%
Gás de Coqueria	3	3	2	3	2	n/a	0,12%	2.942.685	0,00%	0,00%
Gás de Refinaria	2	3	2	3	2	3	0,41%	9.743.864	0,00%	0,00%
Gás Natural Seco	2	2	2	2	2	2	1,88%	45.050.382	0,00%	10,63%
Gás Natural Úmido	2	2	2	2	2	3	0,57%	13.571.269	0,00%	0,00%
Gasolina Automotiva	1	2	2	1	2	2	3,10%	74.319.503	0,00%	17,54%
Gasolina de aviação	1	2	2	1	2	2	0,00%	94.563	0,00%	0,02%
GLP	1	2	2	1	2	2	0,93%	22.341.655	0,00%	5,27%
Lenha	3	n/a	2	3	2	n/a	0,43%	10.260.226	0,00%	0,00%
Lenha Carvoejamento	3	n/a	2	3	2	n/a	0,03%	623.550	0,00%	0,00%
Lixívia	3	n/a	2	3	2	n/a	0,01%	225.118	0,00%	0,00%
Nafta	3	n/a	2	3	2	n/a	0,00%	-	0,00%	0,00%
Óleo combustível	1	2	2	1	2	2	0,30%	7.287.140	0,00%	1,72%
Outras biomassas	3	n/a	2	3	2	n/a	0,01%	132.236	0,00%	0,00%
Outras Não Renováveis	3	n/a	2	3	2	n/a	0,26%	6.224.145	0,00%	0,00%
Outros Energéticos de Petróleo	3	n/a	2	3	2	n/a	0,19%	4.441.126	0,00%	0,00%
Querosene de aviação	1	2	2	1	2	2	0,42%	10.173.413	0,00%	2,40%
Querosene Iluminante	3	n/a	2	3	2	n/a	0,00%	15.774	0,00%	0,00%
Emissões fugitivas										
Extração de carvão mineral: CH ₄	1	1	1	1	1	1	0,05%	1.250.799	0,30%	0,30%
Indústria de petróleo e gás natural	2	3	1	3	3	3	0,83%	19.877.109	0,00%	0,00%

As tabelas aqui apresentadas podem ser melhor visualizadas em suas versões em planilha Excel, disponibilizadas na plataforma web do SEEG, possuindo comentários explicando as razões para classificações (2) e (3) de cada dado.

Referências bibliográficas

ABCM - Associação Brasileira de Carvão Mineral. Carvão Mineral – Dados Estatísticos – Ano 2024. Disponível em: <https://abcm.satc.edu.br/index.php/atuacao/>.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil (2014). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil – Relatório Final. Brasília, 2014.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico 2024. Rio de Janeiro, 2025.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2024). Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil – 6ª Edição. Brasília, 2024.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2020). Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial. Brasília, 2020.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2020). Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Categoria Petróleo e Gás Natural.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2020). Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Setor Energia – Subsetor Emissões Fugitivas – Mineração e Manejo do Carvão Mineral.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2014). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 - Ano Base 2012. Brasília, 2014.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (1988). COBEN, Nota Técnica 02. Critério de Apropriação dos Dados de Vendas do CNP nos Setores do Balanço Energético Nacional.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2005). Balanço de Energia Útil. Brasília, 2005.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2024). Balanço Energético Nacional. Brasília, 2024.

PATUSCO, J.A.M. Energia e desenvolvimento. Brasília, 2014.

Anexo A: Fatores de emissão de CO₂ dos combustíveis

Produtos	Fator de Emissão (kgCO ₂ /TJ)
Alcatrão	80.700
Carvão Vapor 3100	101.000
Carvão Vapor 3300	101.000
Carvão Vapor 3700	101.000
Carvão Vapor 4200	96.100
Carvão Vapor 4500	96.100
Carvão Vapor 4700	96.100
Carvão Vapor 5200	96.100
Carvão Vapor 5900	94.600
Carvão Vapor 6000	94.600
Carvão Vapor Sem Especificação	101.000
Coque de Carvão Mineral	107.000
Coque de Petróleo	97.5000
Diesel de Petróleo	74.100
Gás Canalizado	**
Gás de Coqueria	44.400
Gás de Refinaria	57.600
Gás Natural Seco	56.100
Gás Natural Úmido	56.100
Gasolina Automotiva	69.300
Gasolina de Aviação	70.000
GLP	63.100
Nafta	73.300
Óleo Combustível	77.400
Outras Não Renováveis	143.000
Outros Energéticos de Petróleo	73.300
Querosene de Aviação	71.500
Querosene Iluminante	71.900

**Fatores de emissão para gás canalizado nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, por ano (kgCO₂/TJ)

1970	1971	1972	1973	1974	1975 a 1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
86.167	83.967	79.567	77.000	73.700	73.333	68.567	64.90 0	65.633	65.267	64.90 0	66.00 0

1989 e 1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999 a 2001	2002 a 2024
64.533	64.900	63.067	64.167	62.333	61.967	62.333	62.700	56.100	56.100	55.733

Anexo B: Densidade energética dos combustíveis, por ano (tep/unidade comercial)

Produtos	U	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14-24
Petróleo	m³	0,889	0,890	0,890	0,891	0,889	0,887	0,889	0,892	0,890	0,889	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890
Gás Natural Úmido	10³ m³	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993
Gás Natural Seco	10³ m³	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880	0,880
Carvão Vapor 3100	t	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295
Carvão Vapor 3300	t	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
Carvão Vapor 3700	t	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
Carvão Vapor 4200	t	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Carvão Vapor 4500	t	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425
Carvão Vapor 4700	t	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445
Carvão Vapor 5200	t	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490
Carvão Vapor 5900	t	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560
Carvão Vapor 6000	t	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570	0,570
Carvão Vapor Sem Especificação	t	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285
Carvão Metalúrgico Nacional	t	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642	0,642

Carvão metalúrgico Importado	t	0,7 40	0,7 40	0,7 40	0, 74 0	0,7 40	0,7 40	0,7 40	0, 74 0	0, 74 0	0, 74 0	0, 74 0	0, 74 0	0, 74 0	0, 74 0	0,74 0
Óleo Diesel	m³	0, 85 1	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0, 84 8	0,84 8
Óleo Combustível	m³	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 9	0, 95 7	0, 95 7	0, 95 7	0, 95 7	0,95 7
Gasolina Automotiva	m³	0,7 73	0,7 70	0,7 70	0, 77 0	0,7 70	0,7 70	0,7 70	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0,77 0
Gasolina de Aviação	m³	0,7 63	0,7 63	0,7 63	0, 76 3	0,7 63	0,7 63	0,7 63	0, 76 3	0, 76 3	0, 76 3	0, 76 3	0, 76 3	0, 76 3	0, 76 3	0,76 3
GLP	m³	0, 61 2	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0, 61 1	0,61 1
Nafta	m³	0,7 65	0,7 65	0,7 65	0, 76 5	0,7 65	0,7 65	0,7 65	0, 76 5	0, 76 5	0, 76 5	0, 76 5	0, 76 5	0, 76 5	0, 76 5	0,76 5
Querosene Iluminante	m³	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0,82 2
Querosene de Aviação	m³	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0, 82 2	0,82 2
Gás de Coqueria	10³ m³	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0, 43 0	0,43 0
Gás Canalizado RJ	10³ m³	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0, 38 0	0,38 0
Gás Canalizado SP	10³ m³	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0, 45 0	0,45 0
Coque de Carvão Mineral	t	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0, 69 0	0,69 0
Gás de Refinaria	m³	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 5	0, 65 2	0, 65 5	0, 65 2	0, 65 2	0, 65 2	0, 65 2	0, 65 2	0,65 2
Coque de Petróleo	m³	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 3	0, 87 0	0, 87 3	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0,87 0
Outros Energéticos de Petróleo	m³	0, 88 9	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 88 0	0, 88 0	0, 88 0	0, 88 0	0,88 0
Alcatrão	m³	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0, 85 5	0,85 5
Asfalto	m³	1,0 09	1,0 18	1,0 18	1,0 18	1,0 18	1,0 18	1,0 18	1,0 14	1,0 18	1,0 14	1,0 14	1,0 14	1,0 14	1,0 14	1,01 4
Lubrificantes	m³	0, 89 2	0, 89 1	0, 89 1	0, 89 1	0, 89 1	0, 89 1	0, 89 1	0, 87 0	0, 89 1	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0, 87 0	0,87 0
Solventes	m³	0,7 81	0,7 81	0,7 81	0, 78 1	0,7 81	0,7 81	0,7 81	0, 78 1	0, 78 1	0, 78 1	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0, 77 0	0,77 0
Outros Energéticos de Petróleo	Não de m³	0, 88 9	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 89 0	0, 87 0	0, 89 0	0, 81 0	0, 80 0	0, 80 0	0, 80 0	0, 80 0	0,80 0

Anexo C: Alocação de emissões por municípios

Como primeiro esforço em direção à alocação municipal das emissões brasileiras, a sexta e a sétima coleção do SEEG, lançadas respectivamente em 2018 e 2019, propuseram-se a distribuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no estado de São Paulo em cada um de seus 645 municípios.

Uma vez que o Brasil possui 5.570 municípios, o trabalho de municipalizar emissões representa um grande desafio tanto em relação à obtenção dos insumos informacionais necessários quanto à quantidade de dados manipulados, o que justificou a decisão por determinar apenas um estado como foco inicial nessas coleções.

A partir da oitava coleção do SEEG, tendo de antemão as emissões alocadas por Unidades da Federação²⁰ e considerando os métodos desenvolvidos, bem como os dados acessados na realização desse piloto centrado nas cidades paulistas, foi possível estimar as emissões de GEE para todos os municípios do Brasil em todos os setores emissores (Energia, Mudança de Uso da Terra e Florestas, Agropecuária, Processos Industriais e Resíduos). No entanto, é importante salientar que, por não se tratar de um trabalho dedicado e específico para cada localidade, mas sim de um trabalho geral baseado em dados nacionais disponíveis, a metodologia desenvolvida assume simplificações, além de não ser capaz de alocar 100% das emissões de todas as UFs. Dessa maneira, apesar de indicar as principais tendências, a alocação de emissões municipais do setor de Energia do SEEG pode se distanciar de resultados obtidos em inventários locais oficiais.

Para concretização da iniciativa SEEG Municípios, primeiramente, foi necessário levantar dados de atividade oficiais, correlacionados com as emissões de cada cidade brasileira, que estão listados a seguir.

²⁰ Detalhes sobre a metodologia de alocações estaduais podem ser consultados em 2.2. Alocação de emissões por Unidades da Federação.

Dados de atividades levantado

1. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC); Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)

1.1 Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014

Consumo de querosene de aviação por município

Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-da-aviacao-civil>

Período coberto: 2005 a 2013; 2014 a 2024 (elaboração própria)

2. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)

2.1 Vendas anuais (**totais**) de etanol hidratado e derivados de petróleo por município

Vendas de etanol hidratado

Vendas de gasolina C

Vendas de gasolina de aviação

Vendas de GLP

Vendas de óleo combustível

Vendas de óleo diesel

Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/vendas-de-derivados-de-petroleo-e-biocombustiveis>

Período coberto: 2000 a 2007

2.2 Vendas anuais (**por categoria de atividade**) de etanol hidratado e derivados de petróleo por município

Vendas de coque de petróleo

Vendas de etanol hidratado

Vendas de gasolina C

Vendas de gasolina de aviação

Vendas de GLP

Vendas de óleo combustível

Vendas de óleo diesel

Dados obtidos por solicitação enviada via ferramenta “Fala.BR” do portal GOV.BR:
<https://falabr.cgu.gov.br/web/>

Período coberto: 2007 a 2024

2.3 Processamento de petróleo e produção de derivados

Volume de petróleo refinado nas refinarias nacionais

Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados>

Período coberto: 2000 a 2024

3. Ministério de Minas e Energia (MME)

3.1 Informações anuais de geração de eletricidade e consumo de combustíveis por usina termoeleétrica de serviço público do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Consumo municipal de gás natural e carvão vapor para geração de eletricidade

Dados obtidos por solicitação enviada ao Departamento de Informações e Estudos Energéticos do MME

Período coberto: 2010 a 2024

4. Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo (SEM – SP)

4.1 Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo

Consumo de gás natural no setor automotivo

Consumo de gás natural no setor residencial

Consumo de gás natural nos demais setores

Disponível **em:** <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/intranet/BiblioVirtual/index.html>

Período coberto: 2007 a 2024

A partir dos dados levantados, foi possível **(i)** determinar os combustíveis cujas emissões seriam passíveis de alocação, **(ii)** estabelecer o nível factível de categorização relativa ao uso de cada produto energético, e, por fim, **(iii)** calcular fatores anuais de alocação relacionados com a emissão de cada município, a depender do combustível e de seu nível de categorização.

Os fatores de alocação sempre consideram o volume de determinado dado de atividade (*vendas, consumo ou refino*) em cada município de cada Unidade da Federação em relação ao total correspondente a todo estado em questão. Ou seja, um fator de alocação trata-se da porcentagem de ocorrência de certa atividade municipal em relação ao valor referente ao estado inteiro. Um exemplo de fator de alocação seria: porcentagem de vendas de óleo diesel utilizada para transporte rodoviário no município de Osasco, no ano de 2019, em relação ao montante de vendas no estado de São Paulo registrado para o mesmo ano e atividade (transporte rodoviário).

Portanto, as emissões estaduais foram municipalizadas conforme as seguintes fórmulas matemáticas:

$$(I) \quad F_{c,n,i}^{MUN} = \frac{A_{c,n,i}^{MUN}}{A_{c,n,i}^{UF}}$$

$$(II) \quad E_{c,n,g,i}^{MUN} = E_{c,n,g,i}^{UF} * F_{c,n,i}^{MUN}$$

Sendo:

$F_{c,n,i}^{MUN}$ Fator de alocação para o combustível **c**, no nível de categorização **n**, no ano **i**, no município **MUN**;

$A_{c,n,i}^{MUN}$ Volume de atividade (*vendas, consumo ou refino*) para o combustível **c**, no nível de categorização **n**, no ano **i**, no município **MUN**;

$A_{c,n,i}^{UF}$ Volume de atividade (*vendas, consumo ou refino*) para o combustível **c**, no nível de categorização **n**, no ano **i**, na Unidade da Federação **UF** onde se encontra o município **MUN**;

$E_{c,n,g,i}^{MUN}$ Emissão do gás **g**, referente ao combustível **c** no nível de categorização **n**, no ano **i**, no município **MUN**;

$E_{c,n,g,i}^{UF}$ Emissão do gás **g**, referente ao combustível **c** no nível de categorização **n**, no ano **i**, na Unidade da Federação **UF** onde se encontra o município **MUN**.

A tabela presente na próxima página mostra as combinações entre **(i) combustíveis**, **(ii) níveis de categorização** e **(iii) fatores de alocação**, bem como evidencia, em cada caso, o período em que foi possível alocar as emissões e a fonte de informações utilizada. Já na página 47, avalia-se a qualidade dos dados utilizados para alocação das estimativas de emissões nos municípios.

Por fim, destaca-se que, no último ano analisado, o método aqui exposto possibilitou a alocação de 77% das emissões nacionais do setor de Energia.

Frisa-se mais uma vez que a metodologia baseada em fatores de alocação ainda é um tanto simplificada, e os resultados obtidos dessa maneira podem apresentar diferenças relevantes em relação a inventários locais específicos. Por outro lado, como a grande maioria dos municípios não possuem inventários sistematizados, a iniciativa de alocação municipal das emissões pode trazer diretrizes para que as cidades entendam suas principais fontes de emissão e implementem políticas de redução. Além disso, esse esforço evidencia lacunas em relação ao nível de detalhamento e qualidade dos dados acessíveis necessários aos cálculos de emissão, o que também pode orientar o planejamento de ações que visem elevar a disponibilidade e abrangência de tais informações.

ALOCÇÃO DAS EMISSÕES MUNICIPAIS

Combustível	Categoria	Subcategoria	Finalidade/ Veículo	Nível de Categorização	Fator de Alocção	Período Alocado				
						1970-99	2000-04	2005-06	2007-09	2010-22
Álcool hidratado	Transportes	Rodoviário	NÃO IDENTIFICADO	Atividade de transporte sem categorização veicular	Proporção das vendas de etanol hidratado		ANP (Vendas Totais)		ANP (Vendas por Atividade)	
Carvão Vapor	Geração de Eletricidade	NÃO SE APLICA	Centrais Elétricas de Serviço Público	Geração de eletricidade em termoeletricas de serviço público	Proporção do consumo de carvão vapor em termoeletricas					MME (Consumo)
Coque de Petróleo	Industrial	DIVERSAS	Consumo Final Energético	Consumo de energia em atividades industriais (cerâmica, cimento, mineração e pelotização, química e outras indústrias)	Proporção das vendas de coque de petróleo por categoria de atividade				ANP (Vendas por Atividade)	
Diesel de Petróleo	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	Nenhuma categorização em níveis de atividade	Proporção das vendas de óleo diesel		ANP (Vendas Totais)			
	DIVERSAS	DIVERSAS	DIVERSAS	Atividades categorizadas e subcategorizadas por finalidade do uso de energia	Proporção das vendas de óleo diesel por categoria de atividade				ANP (Vendas por Atividade)	
Gás de Refinaria	Produção de Combustíveis	Refino de petróleo	Centrais Elétricas Autoprodutoras Consumo Final Energético	Atividade de refino de petróleo para produção de combustíveis, categorizada por finalidade do uso de energia	Proporção do volume de petróleo refinado		ANP (Refino de Petróleo)			
	Industrial	Química	Centrais Elétricas Autoprodutoras Consumo Final Energético	Atividade industrial química, categorizada por finalidade do uso de energia	Proporção do volume de petróleo refinado		ANP (Refino de Petróleo)			
Gás Natural	Geração de Eletricidade	NÃO SE APLICA	Centrais Elétricas de Serviço Público	Geração de eletricidade em termoeletricas de serviço público	Proporção do consumo de gás natural seco em termoeletricas					MME (Consumo)
	Transportes	Rodoviário	Automóveis	Atividade de transporte na UFSP com categorização veicular	Proporção do consumo de gás natural seco no setor automotivo				SEM - SP (Consumo)	
	Residencial	NÃO SE APLICA	Consumo Final Energético	Consumo de energia em atividade residencial na UFSP	Proporção do consumo de gás natural seco no setor residencial				SEM - SP (Consumo)	
	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	Consumo de energia na UFSP sem nenhuma categorização em níveis de atividade	Proporção do consumo de gás natural seco e úmido (exceto nos setores automotivo, residencial e elétrico - serviço público)				SEM - SP (Consumo)	
Gasolina Automotiva	Transportes	Rodoviário	NÃO IDENTIFICADO	Atividade de transporte sem categorização veicular	Proporção das vendas de gasolina C		ANP (Vendas Totais)		ANP (Vendas por Atividade)	
Gasolina C	Transportes	Rodoviário	NÃO IDENTIFICADO	Atividade de transporte sem categorização veicular	Proporção das vendas de gasolina C		ANP (Vendas Totais)		ANP (Vendas por Atividade)	
Gasolina de Aviação	Transportes	Aéreo	Aeronaves	Atividade de transporte com categorização veicular	Proporção das vendas de gasolina de aviação		ANP (Vendas Totais)		ANP (Vendas por Atividade)	
GLP	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	Consumo Final Energético	Consumo de energia em atividades não categorizadas	Proporção das vendas de GLP		ANP (Vendas Totais)			
	DIVERSAS	DIVERSAS	Consumo Final Energético	Consumo de energia em atividades categorizadas	Proporção das vendas de GLP por categoria de atividade				ANP (Vendas por Atividade)	
Óleo Combustível	Produção de Combustíveis	Refino de petróleo	Centrais Elétricas Autoprodutoras Consumo Final Energético	Atividade de refino de petróleo para produção de combustíveis, categorizada por finalidade do uso de energia	Proporção do volume de petróleo refinado		ANP (Refino de Petróleo)			
	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	Nenhuma categorização em níveis de atividade	Proporção das vendas de óleo combustível, descontando as emissões alocadas em atividades específicas		ANP (Vendas Totais)			
	DIVERSAS	DIVERSAS	DIVERSAS	Atividades categorizadas e subcategorizadas por finalidade do uso de energia	Proporção das vendas de óleo combustível por categoria de atividade				ANP (Vendas por Atividade)	
Óleo Diesel	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	NÃO IDENTIFICADO	Nenhuma categorização em níveis de atividade	Proporção das vendas de óleo diesel		ANP (Vendas Totais)			
	DIVERSAS	DIVERSAS	DIVERSAS	Atividades categorizadas e subcategorizadas por finalidade do uso de energia	Proporção das vendas de óleo diesel por categoria de atividade				ANP (Vendas por Atividade)	
Querosene de Aviação	Transportes	Aéreo	Aeronaves	Atividade de transporte com categorização veicular	Proporção do consumo de querosene de aviação nos voos que partiram e/ou chegaram ao município			ANAC / IEMA (Consumo por aeroporto)		
Petróleo	Produção de Combustíveis	Refino de Petróleo	NÃO SE APLICA	Emissões fugitivas no refino de petróleo	Proporção do volume de petróleo refinado		ANP (Refino de Petróleo)			

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ALOCAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE EMISSÕES NOS MUNICÍPIOS DO BRASIL (ANO-BASE 2024)

Setor/ Sub-Sector / Categorias	Ocorrencia de alocação	Critério de Alocação	Nível de Atividade		Necessidade de Aprimoramento	Qualidade Geral da Alocação	% do total das Emissões	Emissões (ton GWP)	Proporção com Boa Qualidade (1)	Proporção com Boa Qualidade (1 e 2)
			Existência do Dado	Disponibilidade do Dado						
ENERGIA							18%	423.666.229	0,0%	83,1%
Emissões pela queima de combustíveis										
Alcatrão	3	n/a	3	3	2	n/a	0,01%	306.272	0,00%	0,00%
Álcool hidratado	2	2	2	2	2	2	0,05%	1.109.987	0,00%	0,26%
Bagaço de Cana	3	n/a	3	3	2	n/a	0,13%	2.974.549	0,00%	0,00%
Biogás	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	1.057	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3100	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	7.330	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3300	2	2	2	2	2	2	0,00%	16.483	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 3700	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	57.016	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 4200	3	n/a	3	3	2	n/a	0,01%	335.507	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 4500	2	2	2	2	2	2	0,00%	108.116	0,00%	0,03%
Carvão Vapor 4700	3	n/a	3	3	2	n/a	0,02%	408.776	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 5200	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	44.493	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 5900	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	-	0,00%	0,00%
Carvão Vapor 6000	2	2	2	2	2	2	0,18%	4.345.086	0,00%	1,03%
Carvão Vapor Sem Especificação	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	-	0,00%	0,00%
Carvão Vegetal	3	n/a	3	3	2	n/a	0,01%	190.351	0,00%	0,00%
Coque de Carvão Mineral	3	n/a	3	3	2	n/a	0,02%	503.242	0,00%	0,00%
Coque de petróleo	2	2	2	2	2	2	0,60%	14.099.026	0,00%	3,33%
Diesel de Petróleo	2	2	2	2	2	2	6,78%	159.649.853	0,00%	37,68%
Gás Canalizado RJ	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	-	0,00%	0,00%
Gás Canalizado SP	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	-	0,00%	0,00%
Gás de Coqueria	3	n/a	3	3	2	n/a	0,12%	2.942.685	0,00%	0,00%
Gás de Refinaria	2	3	2	2	2	3	0,41%	9.743.864	0,00%	0,00%
Gás Natural	2	2	2	2	2	2	1,91%	45.050.382	0,00%	10,63%
Gasolina Automotiva	2	2	2	2	2	2	0,58%	13.571.269	0,00%	3,20%
Gasolina C	2	2	2	2	2	2	3,15%	74.319.503	0,00%	17,54%
Gasolina de aviação	2	2	2	2	2	2	0,00%	94.563	0,00%	0,02%
GLP	2	2	2	2	2	2	0,95%	22.341.655	0,00%	5,27%
Lenha	3	n/a	3	3	2	n/a	0,44%	10.260.226	0,00%	0,00%
Lenha Carvoejamento	3	n/a	3	3	2	n/a	0,03%	623.550	0,00%	0,00%
Lixívia	3	n/a	3	3	2	n/a	0,01%	225.118	0,00%	0,00%
Nafta	3	n/a	3	3	2	n/a	0,03%	634.245	0,00%	0,00%
Óleo combustível	2	2	2	2	2	2	0,31%	7.287.140	0,00%	1,72%
Óleo diesel	2	2	2	2	2	2	0,00%	-	0,00%	0,00%
Outras biomassas	3	n/a	3	3	2	n/a	0,01%	132.236	0,00%	0,00%
Outras Não Renováveis	3	n/a	3	3	2	n/a	0,26%	6.224.145	0,00%	0,00%
Outros Energéticos de Petróleo	3	n/a	3	3	2	n/a	0,19%	4.441.126	0,00%	0,00%
Querosene de aviação	2	2	2	2	2	2	0,43%	10.173.413	0,00%	2,40%
Querosene Iluminante	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%	15.774	0,00%	0,00%
Emissões fugitivas										
Extração de carvão mineral: CH ₄	3	n/a	3	3	2	n/a	0,00%		0,00%	0,00%
Extração de carvão mineral: CO ₂	3	n/a	3	3	2	n/a	0,05%	1.250.799	0,00%	0,00%
Indústria de petróleo e gás natural	2	3	2	2	3	3	0,84%	19.877.109	0,00%	0,00%

Legenda para Análise de Qualidade da ALOCAÇÃO DE EMISSÕES POR MUNICÍPIO

Aspecto	Valores
OCORRÊNCIA DE ALOCAÇÃO	1 Alocação possível de toda emissão estadual nos municípios (não fica resíduo/montante não alocado).
	2 Alocação parcialmente possível. Parte das emissões estaduais não foi alocada.
	3 Alocação para os municípios não foi possível.
CRITÉRIO DE ALOCAÇÃO	1 Critério de alocação está diretamente relacionado com os fatores de emissão.
	2 Critério de alocação usa fatores indiretos com alta correlação com os fatores diretos.
	3 Critério de alocação usa fatores indiretos com baixa correlação com fatores diretos.
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 2o inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não sejam públicos). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados.
	2 Dados incompletos.
	3 Dados não existentes.
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 Dados disponíveis de forma pública e gratuita.
	2 Dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica).
	3 Dados não disponíveis.
NECESSIDADE APRIMORAMENTO	1 Sem necessidade de aprimoramento.
	2 Necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo.
	3 Necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo.
QUALIDADE GERAL DA ALOCAÇÃO	1 Dado confiável; capaz de reproduzir 2o inventário.
	2 Dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas.
	3 Dado pouco confiável ou de difícil avaliação.

