

NOTA TÉCNICA

***MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES CAUSADORES
DO EFEITO ESTUFA (GEE) NA MATRIZ
DE COMBUSTÍVEIS LEVES***

*Luciano Rodrigues
Fernanda Valente
Sabrina Matos*

Coordenador do FGV AGRO

Roberto Rodrigues

Coordenadores do Observatório de Bioeconomia

Daniel Barcelos Vargas – Coordenador Executivo

Cecília Fagan Costa

Autores da Nota Técnica

Luciano Rodrigues

Fernanda Valente

Sabrina Matos

Patrocínio

Cooperativa Comigo

Itaú Unibanco

Organização das Cooperativas Brasileiras

Sistema de Cooperativas de Crédito do Brasil

Este estudo está disponível em: <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>

Atualização: dezembro de 2022

Como citar esse documento:

RODRIGUES, L., VALENTE, F., CARLOS, S. M. (2022). *Nota Técnica: monitoramento das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE) na matriz de combustíveis leves*. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. METODOLOGIA	6
2.1. Intensidade de carbono do ciclo Otto (gCO _{2eq} /MJ)	6
2.2. Emissões de GEE na matriz de combustíveis leves (tCO _{2eq})	8
2.3. Emissões evitadas pela bioenergia (tCO _{2eq})	8
2.4. Emissões de GEE per capita (Kg CO _{2eq} . pessoa ⁻¹ .trimestre ⁻¹).....	9
2.5. Emissões evitadas per capita (Kg CO _{2eq} . pessoa ⁻¹ .trimestre ⁻¹).....	10
2.6. Síntese das variáveis utilizadas na construção dos indicadores	10
2.6. Comparação com outras métricas de redução de emissões de GEE	11
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
4. GLOSSÁRIO	13

1. INTRODUÇÃO

O relatório de **MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES CAUSADORES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NA MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS LEVES** é uma iniciativa do **Observatório de Inovação e Conhecimento em Bioeconomia (OCBio)**, da Fundação Getulio Vargas (FGV). Seu objetivo é acompanhar a dinâmica de consumo de combustíveis no Brasil, com atenção especial dedicada à análise e compreensão dos efeitos da bioenergia e de outros combustíveis renováveis na redução das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE).

A compreensão das emissões de GEE no setor de transporte tem inspirado dezenas de estudos acadêmicos ao longo dos últimos anos. Esse assunto também tem recebido especial atenção do setor privado e, principalmente, de formuladores de políticas públicas, pois está diretamente relacionado às discussões e decisões relativas à segurança energética das nações, às medidas de precificação de carbono, à política econômica dos países e ao planejamento das empresas deste setor, entre outros.

A dependência de combustíveis fósseis e a ausência de fontes alternativas na matriz mundial traz implicações significativas sobre as emissões de GEE e podem oferecer riscos à segurança energética diante da maior vulnerabilidade a eventos externos, especialmente diante das alterações recentes na cadeia mundial de suprimentos marcada por disputas e problemas geopolíticos.

No Brasil, a bioenergia se coloca com um dos instrumentos para mitigar os impactos das mudanças climáticas e endereçar as demandas associadas à transição energética - apenas os energéticos produzidos por essa indústria representam quase 20% de toda a matriz nacional e 50% da matriz de combustíveis leves. O uso dos energéticos produzidos por essa indústria se coloca, portanto, como uma opção sustentável às fontes de energia convencionais não renováveis, que se traduzem, marcadamente, pelo uso de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural.

No caso dos biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis ou **RenovaBio**, instituída pela Lei nº13.576/2017, exige que as empresas produtoras ou importadoras desses renováveis se submetam periodicamente a um processo de certificação para quantificar a intensidade de carbono (IC) dos energéticos produzidos em cada planta industrial. Trata-se

de um procedimento com auditoria de firmas inspetoras externas e validação pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A partir desse processo, cada produtor de biocombustível obtém a sua Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEAA), que representa a redução de emissões de GEE promovida pelo uso do biocombustível fabricado em substituição ao combustível fóssil concorrente.

Considerando essas características únicas do mercado brasileiro, o **Observatório de Inovação e Conhecimento em Bioeconomia (OCBio)** desenvolveu um *dashboard* e passará a publicar relatórios trimestrais com análises sobre a demanda por combustíveis leves no Brasil e as emissões de GEE associadas à essa matriz. Tendo como base os dados de consumo e as informações das certificações dos biocombustíveis, foram construídos diferentes indicadores que retratam de forma objetiva a evolução da intensidade de carbono da matriz de combustíveis, a contribuição dos energéticos renováveis para a redução das emissões de GEE e a condição diferenciada da matriz nacional de combustíveis.

As informações e análises divulgadas são fundamentais para a fundamentação de políticas públicas voltadas para esse setor, para a definição de estratégias empresariais associadas à matriz de transporte e, ainda, para a avaliação de medidas que possam impactar a dinâmica do consumo de combustíveis no Brasil e, conseqüentemente, as emissões de GEE no setor de transporte.

Os indicadores incluídos no **DASHBOARD DA MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS LEVES**¹ são:

1. *Intensidade de carbono dos combustíveis leves ou combustíveis do ciclo Otto*², mensurado em gCO_{2eq}/MJ ;
2. *Emissões de GEE na matriz de combustíveis leves, mensuradas em tCO_{2eq}* ;
3. *Emissões de GEE evitadas pela bioenergia, mensuradas em tCO_{2eq}* ;
4. *Emissões de GEE per capita, mensuradas em $Kg CO_{2eq}.pessoa^{-1}.trimestre^{-1}$* ;

¹ Os termos “combustíveis do ciclo Otto”, “combustíveis leves” e “combustíveis utilizados pela frota de veículos leves” serão, por convenção, tratados como sinônimos ao longo do texto.

² O termo “ciclo Otto” refere-se ao ciclo termodinâmico associado ao funcionamento de motores de combustão interna com ignição por centelha. Esse termo remete ao engenheiro alemão *Nikolaus August Otto*, responsável pela implementação com sucesso desse sistema.

5. *Emissões de GEE evitadas per capita, mensuradas em Kg CO_{2eq},pessoa⁻¹.trimestre⁻¹.*

Além dessas informações, também são apresentados o consumo e participação energética dos combustíveis na matriz, tais como etanol hidratado, etanol anidro e gasolina A, considerando como dimensão espacial o País como um todo e as unidades federativas do país.

2. METODOLOGIA

Nessa seção é descrita a abordagem metodológica adotada na construção dos indicadores publicados, bem como as fontes de dados consultadas para a construção do **DASHBOARD**.

2.1. Intensidade de carbono do ciclo Otto (gCO_{2eq}/MJ)

Intensidade de carbono é uma medida das emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia. No caso brasileiro, essa métrica é mensurada em gramas de dióxido de carbono equivalente por megajoule de energia (gCO_{2eq}/MJ), e tem sido utilizada para quantificar as emissões de GEE dos combustíveis considerando a avaliação completa do ciclo de vida de cada produto. Quanto menor o índice, menores são as emissões geradas no processo de produção, distribuição e consumo do respectivo combustível.

Para o cálculo da intensidade de carbono do ciclo Otto (IC_{Ciclo Otto}), o primeiro passo foi estabelecer a intensidade média de carbono (IC) trimestral, em gramas de dióxido de carbono equivalente por megajoule³ (gCO_{2eq}/MJ), associadas ao etanol anidro, etanol hidratado e gasolina A⁴.

³ Joule é uma unidade tradicionalmente utilizada no Sistema Internacional de Unidades (SI) para medir trabalho, energia ou calor. Megajoule, por sua vez, é a unidade de trabalho, energia ou calor equivalente a um milhão de joules (10⁶).

⁴ O consumo de gás natural veicular não foi incluído nessa versão do dashboard em função da indisponibilidade de dados confiáveis sobre o consumo desse energético até o momento da conclusão da última versão deste trabalho.

Nos casos do etanol anidro e do etanol hidratado, as IC médias foram construídas tendo como base os dados de certificação do RenovaBio. A ponderação dos fatores entre os diferentes produtores foi realizada tomando-se a produção de cada planta certificada. Para evitar distorções geradas pelo número distinto de empresas certificadas ao longo do tempo, a intensidade de carbono obtida por cada planta industrial na primeira certificação foi mantida constante desde o janeiro de 2020 (início do período de análise) até a nova certificação da respectiva planta.

Para a gasolina A, foi assumida IC média de 87,4 gCO_{2eq}/MJ, conforme regulamentação da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (maiores detalhes podem ser obtidos em Matsuura et al., 2018).

Além da intensidade de carbono (IC) associada a cada tipo de combustível, foram consideradas, para o cálculo da IC_{Ciclo Otto}, as informações de consumo dos combustíveis gasolina C e etanol hidratado, divulgados pela ANP (2022). Os dados utilizados referem-se ao consumo brasileiro, com desagregação por unidade federativa.

A partir dos dados de consumo de gasolina C, foi possível determinar a quantidade consumida da gasolina A e do etanol anidro, uma vez que a gasolina comercializada nos postos de combustível é composta por 27% de etanol anidro e 73% de gasolina A - teor estabelecido pela legislação conforme Portaria MAPA nº75/2015.

Uma vez obtido o consumo volumétrico (medido em litros ou metros cúbicos), é possível mensurar o “consumo energético” de cada combustível leve em Megajoule (MJ). Essa informação foi calculada tomando-se o conteúdo energético (MJ/mil litros) associado a cada tipo de combustível, conforme especificação definida pela ANP (ver RANP nº 758/2018).

Assim, a IC média do ciclo Otto em um determinado trimestre (t) foi determinada pela seguinte equação:

$$IC_{ciclo\ Otto_t} = \frac{\sum_i^3 C_{it} \cdot IC_{it}}{\sum_i^3 C_{it}}$$

em que:

C_{it} representa o consumo energético (em MJ), no respectivo trimestre de um dado ano (t), para um dado combustível i ;

IC_{it} indica a intensidade de carbono (em gCO_{2eq}/MJ) no período t para o combustível i ;

$i = \{\text{etanol anidro, etanol hidratado, gasolina A}\}$.

O indicador **Intensidade média do ciclo Otto (IC_{Ciclo Otto})** contabiliza quantas gramas de dióxido de carbono equivalente são emitidas na queima de um megajoule de energia pelos veículos leves no Brasil.

2.2. Emissões de GEE na matriz de combustíveis leves (tCO_{2eq})

Para determinar as emissões de gases de efeito estufa originadas do consumo de etanol hidratado, etanol anidro e gasolina A, multiplicou-se o valor consumido pela intensidade de carbono do respectivo combustível. Matematicamente tem-se:

$$Emissões_{GEE_t} = \frac{\sum_i^3 C_{it} \cdot IC_{it}}{10^6}$$

em que:

C_{it} representa o consumo energético (em MJ), no respectivo trimestre de um dado ano (t), para um dado combustível i ;

IC_{it} indica a intensidade de carbono (em gCO_{2eq}/MJ) no período t para o combustível i ;

$i = \{\text{etanol anidro, etanol hidratado, gasolina A}\}$.

O resultado da multiplicação é dividido por 10^6 para que as emissões sejam expressas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}).

O indicador **Emissões de GEE na matriz de combustíveis leves (Emissões_{GEE})** contabiliza as emissões de gases de efeito estufa totais provenientes do consumo de combustíveis leves nos estados brasileiros e no País como um todo.

2.3. Emissões evitadas pela bioenergia (tCO_{2eq})

As emissões de GEE evitadas pela bioenergia foram obtidas por meio da diferença entre as emissões de GEE que seriam realizadas caso os combustíveis fósseis não tivessem

sendo substituídos e as emissões efetivamente registradas pelo consumo dos biocombustíveis.

Formalmente tem-se:

$$Emissões_{evitadas_t} = Emissões_{100\% \text{ fósil}_t} - Emissões_{biocombustíveis_t}$$

$$Emissões_{evitadas_t} = \frac{C_{gasolina_t} \cdot 87,4}{10^6} - \frac{C_{anidro_t} \cdot IC_{anidro_t}}{10^6} - \frac{C_{hidratado_t} \cdot IC_{hidratado_t}}{10^6}$$

em que:

C_{it} representa o consumo energético (em MJ), no respectivo trimestre de um dado ano (t), para um dado combustível i ;

IC_{it} indica a intensidade de carbono (em gCO_{2eq}/MJ) no período t para o combustível i ;

$i = \{\text{etanol anidro, etanol hidratado, gasolina A}\}$.

O resultado da multiplicação é dividido por 10^6 para que as emissões evitadas sejam expressas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}).

O indicador ***Emissões_{evitadas}*** retrata quantas toneladas de dióxido de carbono equivalente deixaram de ser emitidas em virtude da presença dos biocombustíveis na matriz energética brasileira.

2.4. Emissões de GEE per capita ($Kg CO_{2eq} \cdot pessoa^{-1} \cdot trimestre^{-1}$)

As emissões de GEE *per capita*, em quilogramas de dióxido de carbono equivalente, foram obtidas por meio da fórmula seguinte:

$$Emissões_{per\ capita_t} = \frac{Emissões_{GEE_t}}{População_t} * 10^3$$

em que:

$População_t$ representa o número de habitantes no País em um determinado trimestre (t).

Observações trimestrais de população foram construídas por meio dos dados anuais fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022a). Seguindo a mesma metodologia empregada pelo IBGE para os anos intercensitários, os valores trimestrais da população foram obtidos por interpolação cúbica dos dados anuais.

Emissões_{per capita} retrata as emissões totais advindas do consumo de combustíveis leves ponderada pela dimensão populacional dos estados brasileiros e do país como um todo. Portanto, é considerada a contribuição de cada cidadão sobre as emissões totais registradas na matriz de combustíveis do ciclo Otto.

2.5. Emissões evitadas per capita (Kg CO_{2eq.} pessoa⁻¹.trimestre⁻¹)

As emissões evitadas *per capita* foram obtidas por meio da divisão das emissões evitadas pela bioenergia (*Emissões_{evitadas}*) pela *População*. Matematicamente tem-se:

$$Emissões\ evitadas_{per\ capita_t} = \frac{Emissões_{evitadas_t}}{População_t} * 10^3$$

em que:

População_t representa o número de habitantes no País em um determinado trimestre (*t*).

As *Emissões evitadas_{per capita}* retratam quantos quilogramas de dióxido de carbono equivalente deixaram de ser emitidas, por pessoa, em virtude do uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira.

2.6. Síntese das variáveis utilizadas na construção dos indicadores

A **Tabela 1** sintetiza todas as variáveis adotadas para a construção dos indicadores, bem como as suas respectivas unidades de medida e fontes de dados consultadas.

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas na construção dos indicadores.

Variável	Unidade	Fonte
Intensidade de Carbono por certificação do programa RenovaBio	gCO _{2eq} /MJ	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
Consumo de combustíveis	Mil litros	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)

Conteúdo Energético	MJ/litro	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
População	Contagem	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

2.6. Comparação com outras métricas de redução de emissões de GEE

Para retratar a magnitude das emissões evitadas na matriz de combustíveis leves, os indicadores desenvolvidos são comparados com o número de hectares de vegetação nativa (floresta tropical) necessários para obter a mesma redução de emissões de GEE observada no setor de transporte.

Cabe ressaltar que essa comparação se restringe às emissões de GEE e não leva em consideração outros benefícios associados à manutenção ou recomposição das florestas (biodiversidade, impacto no microclima, *etc.*).

Para estimar o estoque médio de carbono relacionado à vegetação nativa em floresta tropical, foi utilizada a Coleção 5.0 do MapBiomas Brasil e o mapa de carbono espacializado por tipo de fitofisionomia do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (EMBRAPA SOLOS, 2021). A partir dessa base de dados, admitiu-se que a quantidade média de carbono presente por hectare de vegetação é de 410 toneladas de CO_{2eq}. Esse parâmetro foi adotado para as comparações mencionadas, retratando de forma mais direta a importância e a potencialidade das reduções de emissões de GEE na matriz de combustíveis leves.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da população: Brasil e unidades da federação**. 2022a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistemas de Contas Nacionais Trimestrais (SCNT)**. 2022b.

EMBRAPA SOLOS. **Capítulo 2 do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Embrapa Solos, 2021.

MATSUURA, M. I. S. et al. **RenovaCalc^{MD}: Método e ferramentas para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio (Nota técnica)**. Política RenovaBio, Março de 2018.

MILHOR, C. E. **Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2002.

4. GLOSSÁRIO

CO₂eq (Dióxido de carbono equivalente): é uma unidade de medida internacional que tem como objetivo estabelecer a equivalência entre todos os gases de efeito estufa (GEE) e o dióxido de carbono (CO₂). Isto significa dizer que, teoricamente, os demais GEE são convertidos em CO₂ para tornar mais fácil a avaliação dos impactos das emissões sobre o aquecimento global. Deste modo, o CO₂eq é o resultado da multiplicação da quantidade emitida de gases de efeito estufa pelo seu respectivo potencial (potencial de aquecimento global) de absorver calor na atmosfera durante um determinado período. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Então, dizemos que o CO₂equivalente do gás metano é igual a 21.

Consumo energético: Diz respeito ao consumo de combustíveis leves na matriz brasileira, avaliado sob a perspectiva da energia gerada. Como o país dispõe de condição única, com parcela significativa da frota leve capaz de utilizar outros combustíveis além da gasolina, a demanda energética por combustíveis leves deve ser avaliada tomando-se o consumo agregado de gasolina, etanol anidro e etanol hidratado, somados de acordo com o conteúdo energético de cada produto.

Conteúdo energético (MJ/litro): é quantidade de energia contida em um litro de combustível.

gCO₂eq/MJ (gramas de dióxido equivalente por megajoule de energia): Unidade de medida que expressa a quantidade de gramas de dióxido de carbono equivalente que são lançadas na atmosfera na queima de um megajoule de energia nos motores dos veículos.

GEE (Gases de Efeito Estufa): Constituem um grupo de gases que contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Entre esses gases podemos citar: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), *etc.* É importante destacar que os GEE são os gases que absorvem uma parte dos raios solares e os redistribuem em forma de radiação na atmosfera. Desse modo, são responsáveis por manter a terra aquecida e são essenciais para a manutenção da vida terrestre. No entanto, a emissão excessiva desses gases, agravada pelas ações humanas através da queima de combustíveis fósseis, intensificam o efeito estufa, o que provoca o aquecimento global, retendo mais calor na terra. Como consequência do aquecimento global há: o aumento de desastres naturais como furacões e ciclones; o derretimento das geleiras; desertificação de áreas naturais; alteração nos períodos de chuvas; ocorrência de secas mais frequentes; *etc.*