

SUBSTITUIÇÃO DA GASOLINA POR GÁS NATURAL COMO ESTRATÉGIA DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

Lorena Dalmaso¹, Carla Reis de Araujo¹

*¹Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
(carla@eq.ufrj.br).*

Resumo: O presente trabalho avalia o potencial de redução das emissões de CO₂ pela substituição da gasolina por gás natural, utilizando projeções da IEA e da OPEC e fatores de emissão do IPCC. As emissões foram estimadas para diferentes cenários prospectivos, permitindo comparar o desempenho ambiental dos dois combustíveis. Os resultados indicam redução aproximada de 19,00% nas emissões de CO₂, evidenciando o gás natural como uma alternativa de transição para a mitigação das emissões de carbono.

Palavras-chave: gás natural, transição energética, emissões de CO₂, combustíveis fósseis, mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com as mudanças climáticas, a degradação ambiental e a segurança energética têm impulsionado, nas últimas décadas, uma profunda transformação no setor energético mundial. O modelo tradicional baseado em combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e derivados, embora tenha sido um importante pilar de desenvolvimento industrial e econômico desde a Revolução Industrial, é atualmente apontado como o maior responsável pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), em especial o dióxido de carbono (CO₂). Esses gases intensificam o aquecimento global, promovendo alterações climáticas de grandes proporções, com impactos sociais, econômicos e ambientais profundos (IPCC, 2022). Somado a isso, a meta global de alcançar a neutralidade de emissões líquidas de carbono até 2050, conforme previsto pelo Acordo de Paris (2015), tem motivado países, empresas e instituições a reavaliar suas matrizes energéticas e a buscar alternativas viáveis para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (SYSTEMIQ, 2020). Nesse cenário, a transição energética emerge como um dos principais desafios e, ao mesmo tempo, oportunidades do século XXI. Trata-se de um processo que busca transformar o modelo energético global em direção a fontes de energia mais limpas, eficientes e sustentáveis, como a solar, eólica, hidrogênio verde e outras tecnologias de baixo carbono (Magazzino et al., 2022). Contudo, essa mudança não ocorre de forma imediata. Exige uma etapa intermediária, caracterizada pelo uso de combustíveis de transição, capazes de reduzir significativamente as emissões de

GEE enquanto as fontes renováveis não se tornam técnica e economicamente viáveis em larga escala (IRENA, 2023). Neste contexto, o gás natural tem sido amplamente debatido como uma solução de transição, por apresentar menor proporção de carbono em relação ao hidrogênio, quando comparado a outros combustíveis fósseis, como carvão, diesel e gasolina. Composto majoritariamente por metano (CH₄), o gás natural possui valor energético elevado. Sua aplicação em setores como geração elétrica, transporte e indústria é considerada uma estratégia viável para a redução progressiva das emissões de carbono no curto e médio prazo (IEA, 2019).

O gás natural é um combustível fóssil formado por uma mistura de hidrocarbonetos leves, que podem ocorrer tanto associados ao petróleo quanto em reservatórios independentes. Sua composição é predominantemente composta por metano, acompanhado de quantidades menores de outros hidrocarbonetos, como etano, propano, butano e hidrocarbonetos de cadeias mais complexas (acima de 5 átomos de carbonos), além de conter baixas concentrações de impurezas, como nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água e compostos de enxofre. A proporção de cada componente dependerá da localização do reservatório, da associação ou não ao petróleo, do tipo de matéria orgânica ou da mistura da qual se originou, da geologia do solo e do tipo de rocha onde se encontra o reservatório (Almeida & Ferraro, 2013). De acordo com (Speight, 1990), a composição pode apresentar variações entre diferentes reservatórios e até mesmo em dois poços de um mesmo campo. A Tabela 1 apresenta os componentes

do gás natural e seu volume em porcentagem aproximado.

Tabela 1: Constituintes do gás natural.

Componente	Fórmula	Volume (%)
Metano	CH ₄	> 85
Etano	C ₂ H ₆	3-8
Propano	C ₃ H ₈	1-5
Butano	C ₄ H ₁₀	1-2
Pentano*	C ₅ H ₁₂	1-5
Dióxido de carbono	CO ₂	1-2
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S	1-2
Nitrogênio	N ₂	1-5
Hélio	He	<0,5

* pentano e hidrocarbonetos de maior peso molecular, incluindo benzeno e tolueno

Fonte: adaptado de Speight, 2014.

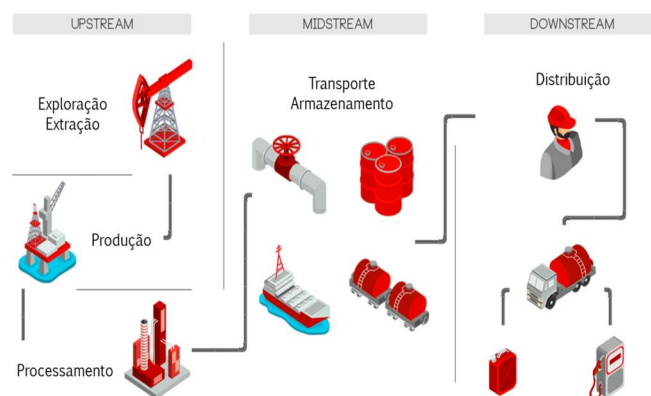
A qualidade energética do gás natural está diretamente relacionada à sua composição: quanto maior a concentração de hidrocarbonetos pesados (cadeias com 5 ou mais átomos de carbono), maior será seu poder calorífico, caracterizando assim um gás mais rico. Contudo, a presença de componentes não combustíveis – como: CO₂, N₂, H₂S, H₂O, HCl, CH₃OH e He – no gás natural bruto, impacta negativamente seu valor energético, uma vez que essas impurezas não participam do processo de combustão (Vaz; Maia; Santos, 2018).

O conhecimento sobre a cadeia do gás natural é fundamental para diversos setores da economia e para a transição energética global. Abrange todas as etapas desde a extração até o consumo final, passando por processamento, transporte, distribuição e comercialização (Kidnay; McCartney; Parrish, 2020). Compreender cada uma dessas fases é essencial para garantir eficiência operacional, segurança, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. A Figura 1 mostra a divisão dos três grandes segmentos da indústria do gás natural, que pode ser dividida em upstream, midstream e downstream.

O potencial de utilização do gás natural como agente da transição energética pode ser avaliado a partir de análises de importantes relatórios de projeções energéticas mundiais, como o World Energy Outlook 2024 da Agência Internacional de Energia (IEA) e o World Oil Outlook 2050 da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEC), que apontam cenários futuros para a demanda energética global até 2050. O estudo desses cenários permite estimar o impacto da substituição de combustíveis mais poluentes por gás natural no balanço global de emissões, contribuindo para uma avaliação mais

concreta de sua eficácia como alternativa de transição (IEA, 2024).

Figura 1: Segmentos da indústria do gás natural.



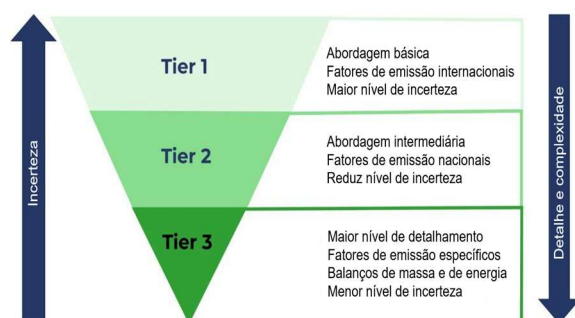
Fonte: adaptado de Idealex.press, 2018.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa adota uma abordagem mista, integrando métodos qualitativos e quantitativos com o intuito de proporcionar uma análise mais abrangente e crítica sobre o papel do gás natural como combustível de transição energética. A dimensão qualitativa da investigação se manifesta na fundamentação teórica sobre o conceito de transição energética e os desafios ambientais, sociais, econômicos e políticos envolvidos nesse processo. Além de explorar a definição, origem, diferentes usos e cadeia de valor do gás natural. Já a dimensão quantitativa está presente nos cálculos realizados para estimar a emissão de dióxido de carbono a partir da demanda projetada de combustíveis fósseis, bem como na comparação dessas emissões com um cenário hipotético de substituição por gás natural e no cálculo de créditos de carbono resultante dessa troca. Quanto à natureza da pesquisa, esta pode ser classificada como explicativa e avaliativa. O caráter explicativo emerge da tentativa de compreender os impactos que diferentes matrizes energéticas exercem sobre o aquecimento global, enquanto o aspecto avaliativo se reflete na análise comparativa dos dados de emissão e na estimativa dos créditos de carbono que poderiam ser gerados por meio da substituição de combustíveis mais poluentes. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a etapa bibliográfica da pesquisa concentra-se na análise de literatura científica e técnica sobre transição energética, mudanças climáticas geradas pelo aquecimento global, características do gás natural e métodos de cálculo de emissão de dióxido de carbono. Foram utilizados dados extraídos dos relatórios World Energy Outlook 2024 da Agência Internacional de Energia (IEA) e World Oil Outlook 2025 da Organização dos Países Exportadores de Petróleo

(OPEC), além das diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para a estimativa de emissões de CO₂, que categoriza os métodos de cálculo em diferentes níveis de precisão, chamados de *Tiers* (Figura 2). O trabalho utiliza uma combinação entre *Tier 1*, que aplica fatores de emissão médios globais, e *Tier 2*, que emprega dados nacionais ou específicos do setor energético, possibilitando estimativas mais representativas da realidade energética dos países estudados. Os cálculos foram realizados por meio de planilhas automatizadas em Excel, complementados por ferramentas da IEA para conversão de unidades energéticas.

Figura 2: Complexidade da metodologia de Tiers.



Fonte: adaptado de Booyesen et al., 2018

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cenário brasileiro: políticas estabelecidas

No cenário de políticas estabelecidas, a demanda por gasolina no Brasil permanece relevante durante o período analisado. Consequentemente, as emissões de CO₂ associadas à combustão desse combustível continuam representando uma parcela importante do impacto ambiental do setor de transportes.

A substituição energética por gás natural reduz as emissões em todos os anos avaliados. Esse resultado decorre da menor quantidade de CO₂ emitida pelo gás natural por unidade de energia fornecida.

Conforme apresentado na Figura , as emissões da gasolina permanecem superiores às estimadas para o gás natural em 2030, 2035 e 2050. Apesar da variação da demanda ao longo do período, a vantagem relativa do gás natural é mantida.

Esse comportamento evidencia que a estratégia de substituição pode gerar benefícios ambientais mesmo sem alterar imediatamente a estrutura tecnológica do sistema de transportes. A adoção do gás natural veicular pode representar uma alternativa de curto e médio prazo, sobretudo em regiões que já dispõem de infraestrutura de distribuição e abastecimento.

Entretanto, a análise não deve ser interpretada como uma defesa da permanência indefinida dos combustíveis fósseis. O gás natural atua como solução intermediária e deve ser considerado dentro de uma estratégia mais ampla de descarbonização, envolvendo eletrificação, biocombustíveis e melhoria da eficiência veicular.

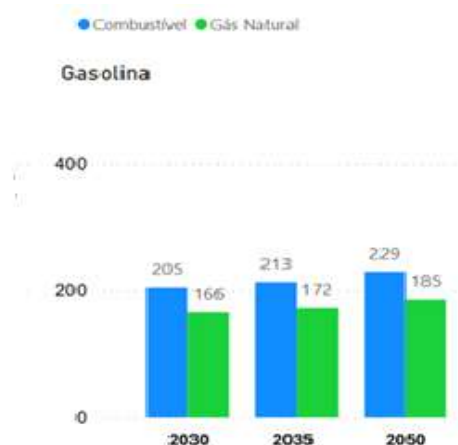


Figura 3 – Comparação das emissões de CO₂ da gasolina e do gás natural no Brasil no cenário de políticas estabelecidas.

Fonte: elaboração própria

Cenário brasileiro: promessas anunciadas

No cenário de promessas anunciadas, a demanda futura por gasolina apresenta redução mais significativa, refletindo o efeito esperado de políticas climáticas, eletrificação da frota e maior utilização de combustíveis de menor intensidade de carbono. Mesmo nesse cenário, a gasolina continua gerando mais emissões do que o gás natural para uma quantidade equivalente de energia.

A Figura 4 mostra que a redução da demanda diminui progressivamente as emissões absolutas dos dois combustíveis. Contudo, a diferença entre gasolina e gás natural permanece ao longo de toda análise.

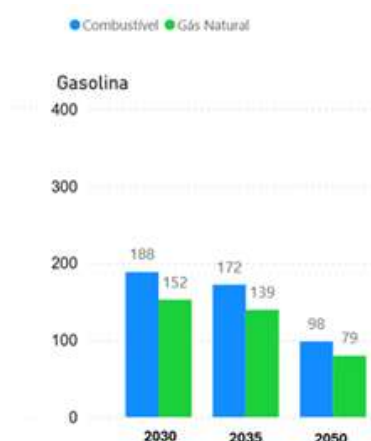


Figura 4 – Comparação das emissões de CO₂ da gasolina e do gás natural no Brasil no cenário de promessas anunciadas.

Fonte: elaboração própria

Neste estudo, a redução estimada para a gasolina foi de 19,00% em todos os anos e cenários brasileiros. O estudo também calculou que a substituição poderia gerar aproximadamente 38.964 créditos de carbono por dia em 2030, no cenário de políticas estabelecidas, e 35.847 créditos por dia no cenário de promessas anunciadas. Em 2050, esses valores seriam menores em razão da redução da demanda, alcançando aproximadamente 43.640 créditos por dia no primeiro cenário e 18.703 créditos por dia no segundo.

Esses valores mostram que a diminuição das emissões pode apresentar, além do benefício climático, potencial econômico.

Cenário mundial segundo a IEA

Em escala mundial, os efeitos da substituição são mais expressivos em termos absolutos, devido ao elevado consumo global de gasolina. Mesmo uma redução percentual próxima de 19,00% pode representar milhões de toneladas de CO₂ não emitidas quando aplicada ao conjunto da demanda mundial.

A Figura 5 mostra que no cenário de políticas estabelecidas da IEA, o consumo de gasolina continua significativo até 2050. Esse resultado demonstra que as políticas atualmente implementadas podem não ser suficientes para promover uma substituição rápida dos combustíveis líquidos utilizados no transporte.

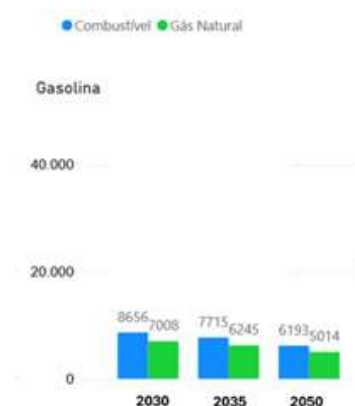


Figura 5 – Comparação mundial das emissões de CO₂ da gasolina e do gás natural no cenário de políticas estabelecidas.

Fonte: elaboração própria

A Figura 6 representa um cenário de redução da demanda. Mesmo assim, a substituição por gás natural continua apresentando emissões inferiores, confirmando que a vantagem relativa não depende apenas do volume consumido, mas das propriedades



dos combustíveis.

Figura 6 – Comparação mundial das emissões de CO₂ da gasolina e do gás natural no cenário de promessas anunciadas.

Fonte: elaboração própria.

Comparação dos resultados da IEA e da OPEC

A comparação entre os relatórios mostra diferenças relevantes nas projeções de longo prazo. A OPEC estima uma demanda por derivados de petróleo superior à projetada pela IEA, gerando valores mais elevados de emissão de CO₂ (Figura 7).

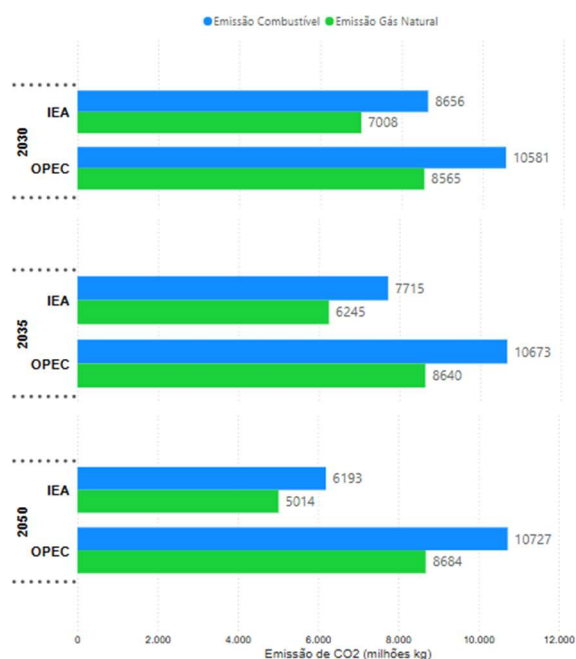


Figura 7 – Comparação das emissões mundiais de CO₂ da gasolina segundo os relatórios da IEA e da OPEC.

Fonte: elaboração própria.

CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar o potencial do gás natural como combustível de transição energética por meio da comparação das emissões de dióxido de carbono decorrentes da substituição da gasolina por gás natural em diferentes cenários de demanda energética. Para isso, foram utilizados dados dos relatórios World Energy Outlook 2024, da Agência Internacional de Energia (IEA), e World Oil Outlook 2050, da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEC), associados à metodologia proposta pelas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC, o que possibilitou a estimativa das emissões de CO₂ nos cenários analisados.

Os resultados demonstraram que a substituição da gasolina por gás natural reduz as emissões de dióxido de carbono em todos os cenários avaliados. Essa redução ocorre devido às características químicas do gás natural, cuja maior relação hidrogênio/carbono resulta em menor emissão de CO₂ por unidade de energia gerada, em comparação à gasolina. No conjunto dos cenários analisados, verificou-se uma redução aproximada de 19% nas emissões, o que evidencia que o gás natural pode contribuir para reduzir o impacto ambiental associado ao consumo de combustíveis fósseis.

No contexto brasileiro, os resultados indicam que a substituição da gasolina por gás natural proporciona

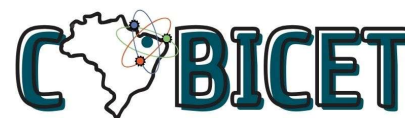
uma redução das emissões projetadas em todos os anos considerados, tanto no cenário de políticas estabelecidas quanto no de promessas anunciadas. Embora a magnitude das emissões varia em função da demanda prevista para cada período, a vantagem ambiental do gás natural permanece constante ao longo da análise, confirmando sua capacidade de reduzir as emissões diretas de dióxido de carbono no setor de transportes.

Em escala mundial, observou-se comportamento semelhante ao identificado para o Brasil. Apesar das diferenças existentes entre as projeções da IEA e da OPEC quanto à evolução da demanda por combustíveis fósseis, ambos os relatórios indicam que a utilização do gás natural resulta em menores emissões de dióxido de carbono quando comparada à gasolina. As diferenças verificadas entre as projeções decorrem das premissas adotadas por cada instituição, porém não alteram a conclusão de que o gás natural apresenta desempenho ambiental mais favorável sob o ponto de vista das emissões de CO₂.

Além da redução das emissões, o estudo demonstrou que essa diferença pode representar potencial para geração de créditos de carbono, uma vez que a menor emissão de dióxido de carbono aumenta a possibilidade de obtenção de benefícios econômicos associados aos mecanismos de precificação de carbono. Dessa forma, além da contribuição ambiental, a substituição da gasolina por gás natural pode representar uma oportunidade para agregar valor econômico em iniciativas voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, os resultados também evidenciam que o gás natural não deve ser considerado uma solução definitiva para a descarbonização do setor energético. Por se tratar de um combustível fóssil, sua utilização continua resultando em emissões de dióxido de carbono, ainda que inferiores às observadas para a gasolina. Assim, seu papel deve ser compreendido como o de um combustível de transição, capaz de reduzir as emissões enquanto ocorre a ampliação da participação de fontes renováveis e o desenvolvimento de tecnologias energéticas de menor impacto ambiental.

Desta forma, verifica-se que os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que foi possível comparar as emissões de dióxido de carbono entre gasolina e gás natural, estimar a redução obtida com a substituição do combustível e analisar seus possíveis benefícios ambientais e econômicos. Os resultados reforçam que o gás natural pode desempenhar papel relevante na transição energética, contribuindo para a redução das emissões de CO₂ no curto e médio prazo, especialmente em setores nos quais a substituição imediata por fontes renováveis ainda apresenta limitações técnicas, econômicas ou estruturais.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Edmar Fagundes de; FERRARO, Marcelo Colomer. **Indústria do gás natural: fundamentos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro, RJ: Synergia Editora, 2013.

BIANCHI, J. Upstream, midstream y downstream, tres conceptos que debes manejar en oil & gas. Idealex.press, 9 jul. 2018.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **The Role of Gas in Today's Energy Transitions**. Paris: IEA, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **World Energy Outlook 2024**. Paris: IEA, 2024.

International Renewable Energy Agency – IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway**. Abu Dhabi: IRENA, 2023.

KIDNAY, A. J.; MCCARTNEY, Daniel G.; PARRISH, William Rutledge. **Fundamentals of natural gas processing**. Third edition ed. Boca Raton London New York: CRC Press, 2020.

MAGAZZINO, Cosimo et al. Renewable energy consumption, environmental degradation and economic growth: the greener the richer? **Ecological Indicators**, v. 139, p. 108912, jun. 2022.

SPEIGHT, James G. **Fuel science and technology handbook**. New York, NY: Dekker, 1990.

SPEIGHT, James G. **Handbook of natural gas analysis**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018.

SYSTEMIQ. **The Paris Effect: how the climate agreement is reshaping the global economy**. [S.l.]: SYSTEMIQ, 2020.

VAZ, Célio Eduardo Martins; MAIA, João Luiz Ponce; SANTOS, Waldir Gomes dos. **Tecnologia Da Indústria Do Gás Natural**. [S.l.]: Editora Edgard Blucher, 2018.