

O ECO DA GRADUAÇÃO

21ª Edição



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas
Públicas

Departamento de Economia

O Eco da Graduação

Vol. 11, Nº. 01, Edição 21

2026

EDITORES RESPONSÁVEIS

Daniela Freddo

Andrea Felipe Cabello

CONSELHO EDITORIAL

Ana Lyvia Kunz Nadler Blower

Juliano Vargas

MEMBROS

Afonso Celso Dias Ferreira

Ana Beatriz de Freitas Gomes

Ana Lyvia Nadler Blower

Arthur Lisboa Barbosa

Diogo de Oliveira Martins

Giovanna Roncato Marques de Castro

Helen Cristine Olivo

Josivane Costa Rodrigues

Luiza Nodari Neves

Marcos Antonio Alves da Silva

Marília Alice Marques de Braga

Thaís da Silva Sant'Ana

Weden Douglas de Almeida Felacio Cruvinel



Sumário

<u>ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO LEITEIRA ENTRE AS UNIDADES FEDERATIVAS BRASILEIRAS EM 2020</u>	<u>5</u>
<u>REGULAÇÃO DE TRANSPORTES E AVANÇOS DO SETOR PÚBLICO NO BRASIL: UMA ANÁLISE DAS CONQUISTAS E DESAFIOS RECENTES</u>	<u>23</u>
<u>A CRISE FINANCEIRA DE 2008 E AS DINÂMICAS DE CRESCIMENTO: PERSPECTIVAS COMPARATIVAS.....</u>	<u>39</u>
<u>ANÁLISE DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) ASSOCIADAS AOS SITES INSTITUCIONAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA</u>	<u>47</u>
<u>VANTAGEM ESTRUTURAL, ESCOLHA POLÍTICA: UMA ANÁLISE DA CONTRADIÇÃO ENTRE POTENCIAL E PRÁTICA CLIMÁTICA BRASILEIRA NOS 10 ANOS DO ACORDO DE PARIS</u>	<u>59</u>

Análise de eficiência da produção leiteira entre as unidades federativas brasileiras em 2020

Efficiency analysis of dairy production among brazilian federative units in 2020

Núbia Sulamita Trajano da Silva¹

Shirlene Cristina Brito da Silva¹

Cícera Edna da Silva¹

Fernando Rocha Palácios¹

David Costa Correia Silva¹

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da produção leiteira nas Unidades Federativas (UF) brasileiras no ano de 2020, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), com modelos de retornos constantes (CRS) e variáveis de escala (VRS), orientados para *outputs*. A análise utilizou como insumos as áreas de pastagens, o crédito rural, o número de estabelecimentos e os vínculos formais de trabalho, e como produtos a quantidade (em mil litros) e o valor da produção (em mil reais). No modelo CRS, seis UFs alcançaram eficiência: Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No modelo VRS, dez unidades atingiram eficiência, incluindo Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco e Roraima. Os resultados mostram diferenças relevantes no desempenho produtivo entre os estados e indicam espaço para aprimorar a alocação de recursos e orientar políticas públicas para o setor. Ao analisar simultaneamente todas as Unidades Federativas, o estudo introduz uma abordagem comparativa inédita em nível federativo e amplia a compreensão da eficiência produtiva da cadeia leiteira no Brasil.

Palavras-chave: análise envoltória de dados; cadeia produtiva do leite; eficiência técnica; economia agrária.

The objective of this study was to evaluate the efficiency of dairy production across the 27 Brazilian Federative Units in 2020 using Data Envelopment Analysis (DEA), employing constant returns to scale (CRS) and variable returns to scale (VRS) models oriented to outputs. The analysis considered pasture areas, rural credit allocation, the number of establishments, and formal employment ties as inputs, while the quantity of milk produced (in thousand liters) and the total value of production (in thousand reais) were defined as outputs. Under the CRS model, six Federative Units achieved full efficiency: Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina. Under the VRS specification, ten units achieved efficiency, including Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, and Roraima. The results reveal significant differences in productive performance across states and indicate opportunities to improve resource allocation and guide targeted public policies for the sector. By simultaneously evaluating all Federative Units, the study introduces an unprecedented comparative approach at the federative level and expands the understanding of productive efficiency within the Brazilian dairy supply chain.

Keywords: data envelopment analysis; dairy supply chain; technical efficiency; agricultural economics.

JEL Classification: Q12; D24; C61

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia. E-mail: david.silva@ufra.edu.br

1 Introdução

Em 2020, o Brasil detinha o maior rebanho bovino do mundo, com mais de 217 milhões de cabeças, superando Índia e Estados Unidos (WPR, 2024). No mesmo ano, ocupava a terceira posição na produção mundial de leite, com volume superior a 26 milhões de toneladas (FAO, 2025). Esses dados evidenciam a relevância econômica da cadeia leiteira no contexto do agronegócio brasileiro.

Além de sua importância produtiva, o leite e seus derivados possuem elevado valor nutricional, sendo fontes de proteínas de alto valor biológico, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais essenciais, especialmente cálcio (Marques et al., 2024). Sua composição varia conforme fatores como raça do gado, estágio de lactação e processamento (Fox, 2015), e o consumo regular é recomendado para suprir necessidades nutricionais ao longo da vida (Murphy et al., 2017).

A relevância do consumo de leite e derivados ultrapassa a mera nutrição, sendo um elemento central na formação de laços sociais, na manutenção de tradições e na expressão da diversidade cultural do povo. Assim, o leite possui ligação cultural com diversas tradições gastronômicas, eventos sociais e faz parte dos costumes espalhados por todo território brasileiro.

Dada a miríade de elementos que cercam esse alimento, a demanda leiteira mobiliza alguns fatores produtivos que engendram a oferta desse produto. Segue que a análise econômica é fundamentada na disponibilidade de recursos produtivos e gestão de recursos escassos. Pois, uma vez que haja inadequação ou a ausência de atenção a essas variáveis provavelmente haverá prejuízos empresariais ou variações significativas de preços. Nesse sentido, a procura pela eficiência deve ser o principal objetivo das unidades produtivas.

A literatura nacional tem aplicado amplamente a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência na pecuária leiteira. Estudos como os de Peres, Costa e Leal (2021), Buss, Sabbag e Mendieta (2020), Piedade et al. (2023) e Bassotto et al. (2023) analisam a eficiência produtiva em propriedades rurais ou em recortes regionais específicos. Outras pesquisas, como Gomes et al. (2018, 2024), investigam a eficiência em programas de assistência técnica ou em estudos de caso. Revisões sistemáticas, a exemplo de Almeida e Bacha (2021), indicam que grande parte da literatura brasileira permanece concentrada em análises locais ou estaduais.

Apesar da relevância desses estudos para compreender a eficiência produtiva em contextos específicos, ainda são escassas análises que examinem simultaneamente todas as Unidades Federativas brasileiras sob uma mesma estrutura comparativa, o que limita a compreensão das disparidades produtivas em escala nacional.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo analisar a eficiência da produção leiteira nas Unidades Federativas brasileiras no ano de 2020, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Ao avaliar as 27 UFs sob um mesmo modelo e estrutura comparativa, o trabalho introduz uma abordagem inédita em nível federativo e preenche uma lacuna importante na literatura ao oferecer uma visão abrangente da eficiência nacional. Essa perspectiva amplia a compreensão das disparidades regionais e permite uma análise mais ampla das políticas públicas e estratégias de desenvolvimento em âmbito federal e estadual, contribuindo para o debate sobre eficiência produtiva no setor leiteiro brasileiro.

2 Referencial teórico

2.1 Fronteiras Conceituais: Eficácia, Produtividade e Eficiência

O desenho de estratégias de sobrevivência e expansão no agronegócio contemporâneo requer rigor na mensuração do desempenho das unidades produtoras. No entanto, a literatura econômica frequentemente aponta para o uso impreciso ou sobreposto de três conceitos fundamentais: eficácia, produtividade e eficiência (Paradi; Sherman; Tam, 2018). Para fins de modelagem econômica, faz-se indispensável delimitar conceitualmente estas fronteiras operacionais.

A eficácia vincula-se estritamente ao cumprimento de metas e objetivos previamente estabelecidos, sem que haja uma preocupação central com a dimensão monetária ou física dos recursos consumidos nesse processo. No contexto da atividade leiteira, uma unidade produtora ou uma região é considerada eficaz simplesmente se cumpre a função de ofertar leite ao mercado, negligenciando o custo de oportunidade dos fatores de produção mobilizados.

A produtividade, por sua vez, configura-se como uma medida puramente técnica expressa pela razão matemática entre o volume de saídas (*outputs*) e a quantidade de entradas (*inputs*) (Atici; Podinovski, 2015). Embora seja um indicador gerencial valioso, a produtividade carrega uma limitação analítica: ela é, em sua essência, uma medida parcial. Expressões clássicas do setor, tais como “litros de leite por hectare/ano” ou “litros de leite por vaca em lactação/dia”, falham ao isolar o impacto combinado de múltiplos fatores simultâneos, como a injeção de crédito rural, o uso de mão de obra qualificada e a infraestrutura de ordenha.

O conceito de eficiência, por conseguinte, assume um caráter significativamente mais amplo, comparativo e otimizador. Conforme preconizado pela teoria microeconômica da produção, a eficiência técnica reflete a capacidade de uma firma (ou região) de operar sobre a fronteira de produção tecnologicamente viável (Varian, 2010). Uma unidade tomadora de decisão é considerada tecnicamente eficiente se, e somente se, for impossível expandir qualquer um de seus *outputs* sem aumentar a quantidade de algum *input*, ou, alternativamente, se for impossível reduzir qualquer *input* sem comprometer o volume de suas saídas (Cooper; Seiford; Zhu, 2011). A análise da eficiência, portanto, pressupõe a existência de múltiplos insumos e produtos e baseia-se no confronto direto entre o desempenho real de uma unidade e o melhor desempenho observado dentro do seu grupo de comparabilidade (os *benchmarks* de fronteira).

2.2 Fundamentos e Vantagens da Análise Envoltória de Dados (DEA)

A necessidade de mensurar de forma empírica a eficiência técnica em setores caracterizados pela ausência de preços de mercado explícitos para todos os fatores ou pela ocorrência de múltiplas estruturas de produção levou ao desenvolvimento da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* — DEA). Formulada originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a DEA consolidou-se como uma técnica de programação linear não paramétrica voltada à estimação de fronteiras determinísticas de produção (Cooper; Seiford; Tone, 2007).

Diferentemente das abordagens econométricas tradicionais, como a Análise de Fronteira Estocástica (*Stochastic Frontier Analysis* — SFA), que exigem a imposição prévia de uma forma funcional estrita para a tecnologia de produção (como as funções do tipo Cobb-Douglas

ou Translog), a DEA estima a fronteira de forma empírica a partir do envolvimento dos dados observados. Essa característica confere à metodologia uma flexibilidade única, permitindo que os pesos e as ponderações associados a cada variável sejam determinados de forma endógena pelo próprio modelo, maximizando o escore de eficiência de cada unidade individualmente.

No setor agropecuário, onde as unidades operam sob severas restrições de recursos finitos e condições climáticas adversas, a DEA destaca-se por sua capacidade de lidar simultaneamente com insumos expressos em diferentes unidades de medida (como quilômetros quadrados de terra, contagem de vínculos formais e valores monetários de crédito) e convertê-los em um índice de eficiência único e adimensional, variando de 0 a 1 (Gomes et al., 2012). Além de classificar as unidades em eficientes e ineficientes, a modelagem fornece as metas e as folgas de insumos para cada unidade subótima, indicando o percentual exato de desperdício e desenhando caminhos práticos para a reconfiguração gerencial do setor.

2.3 Aplicações da DEA na Pecuária Leiteira Nacional: Evidências e Limitações

A cadeia do agronegócio leiteiro ocupa uma posição estratégica de alta capilaridade social e econômica no Brasil, respondendo por parcela significativa do PIB agropecuário e atuando como um vetor essencial de fixação do homem no campo e geração de renda mensal contínua (CNA, 2021). Contudo, a análise da literatura nacional revela que a busca pela eficiência produtiva no setor ocorre em um ambiente de profunda heterogeneidade técnica e gerencial.

Estudos empíricos conduzidos nas últimas duas décadas recorrem de forma frequente à modelagem DEA para diagnosticar o desempenho da atividade laticinista no país. Revisões sistemáticas, a exemplo da realizada por Almeida e Bacha (2021), indicam que a maior parte das pesquisas brasileiras se concentra em recortes microeconômicos locais, analisando cooperativas específicas, amostras de produtores familiares ou bacias leiteiras estaduais delimitadas (como em Minas Gerais, São Paulo e Paraná).

De forma consistente, esse conjunto de estudos aponta que a produção leiteira brasileira opera sob níveis elevados de ineficiência técnica crônica. Pesquisas como as de Bassotto et al. (2023), Buss, Sabbag e Mendieta (2020) e Peres, Costa e Leal (2021) situam as médias de eficiência técnica setorial em intervalos que variam de 0,58 a 0,71 para modelos sob retornos constantes de escala (CRS), e de 0,74 a 0,81 para modelos sob retornos variáveis (VRS). Esse diagnóstico persistente revela um substancial espaço para ganhos produtivos nacionais, sinalizando que a mera difusão de tecnologias de manejo e práticas gerenciais básicas possui o potencial de expandir a oferta de leite sem demandar a abertura de novas áreas ou o aumento de custos estruturais.

A literatura aponta unanimemente para dois vetores centrais como os principais determinantes da eficiência técnica no campo: a qualidade da gestão interna da propriedade e o acesso à assistência técnica qualificada e continuada. Conforme demonstrado por Gomes et al. (2018), produtores vinculados a programas robustos de capacitação gerencial desenharam um “ciclo virtuoso”, onde a continuidade do aprendizado técnico traduz-se na otimização do uso de insumos caros — como concentrados alimentares e medicamentos veterinários —, resultando em saltos de rentabilidade e eficiência. Por outro lado, o isolamento logístico, a baixa

escolaridade e a ausência de treinamento financeiro são mapeados por Rocha et al. (2020) como as principais causas da ineficiência e da exclusão de pequenos produtores do mercado formal de laticínios.

No que tange à dimensão das estruturas produtivas, a relação entre o tamanho da propriedade e a eficiência apresenta nuances importantes. Enquanto análises tradicionais tendem a associar propriedades de grande escala a maiores índices de eficiência devido a ganhos tecnológicos, pesquisas como as de Piedade et al. (2023) demonstram que fazendas com grandes extensões territoriais nem sempre se posicionam na fronteira, frequentemente incorrendo em deseconomias de escala devido a gargalos na gestão da mão de obra e subutilização da terra. Paralelamente, Peres, Costa e Leal (2021) evidenciam que produtores de pequeno porte, quando amparados por um modelo de gestão intensivo e controle rigoroso de custos, são plenamente capazes de alcançar a eficiência máxima, indicando que o sucesso produtivo está atrelado à qualidade do gerenciamento dos recursos e não ao tamanho absoluto da operação.

Apesar da riqueza operacional destas investigações locais e regionais, a literatura brasileira padece de uma lacuna metodológica importante: a escassez de análises que submetam todas as 27 Unidades Federativas sob uma mesma estrutura comparativa macroeconômica. Ao concentrar as avaliações em amostras locais e relativamente homogêneas, a literatura limita a compreensão das assimetrias federativas e institucionais que condicionam a cadeia do leite em escala nacional. É nesse hiato que este estudo se insere, utilizando uma abordagem macro para oferecer um mapa abrangente da eficiência produtiva do agronegócio leiteiro no federalismo brasileiro.

3 Metodologia

3.1 Apresentação dos Modelos Matemáticos DEA

A mensuração da eficiência técnica da produção leiteira foi realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), uma técnica não paramétrica fundamentada em programação linear que permite avaliar o desempenho relativo de unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs), caracterizadas pela mobilização de múltiplos insumos para a geração de múltiplos produtos (Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

Dadas as características institucionais e de mercado da atividade leiteira no Brasil, optou-se por modelos com orientação a *outputs* (produtos). Sob essa perspectiva de otimização econômica, o objetivo matemático reside em maximizar a quantidade e o valor da produção gerada, mantendo-se fixas as quantidades dos insumos dadas pelo estoque estrutural de cada unidade federativa (Vlontzos et al., 2014).

Para discriminar o impacto da dimensão operacional sobre o desempenho dos estados, a fronteira empírica foi estimada sob dois pressupostos axiomáticos distintos: os modelos CRS (*Constant Returns to Scale*) e VRS (*Variable Returns to Scale*).

3.1.1 Modelo CRS (Constant Returns to Scale) com Orientação a Outputs

O modelo CRS, proposto originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), assume a hipótese de retornos constantes de escala, pressupondo linearidade estrita e proporcionalidade direta entre as variações de insumos e produtos (Kočiřová, 2015). Este modelo mensura a Eficiência Técnica Global, sendo indicado para cenários em que todas as DMUs operam em sua escala ótima de produção (Paradi; Sherman; Tam, 2018).

Formalmente, considere um conjunto de n DMUs ($j = 1, 2, \dots, n$), onde cada unidade utiliza um vetor de m insumos $x_{ij} = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ para produzir um vetor de s produtos $y_{rj} = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$. Para a avaliação de uma DMU específica, denominada DMU_o (onde $o \in \{1, 2, \dots, n\}$), o problema de programação linear (PPL) na forma de *Envelopamento* é formulado da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar } \phi_o$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{io}, \forall i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq \phi_o y_{ro}, \forall r = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j &\geq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Onde:

- ϕ_o representa o escore de eficiência técnica da DMU_o , atuando como o fator escalar de expansão radial dos produtos ($\phi_o \geq 1$).
- x_{io} e y_{ro} correspondem, respectivamente, às quantidades observadas do insumo i e do produto r na unidade em avaliação (DMU_o).
- λ_j é o vetor de pesos (ponderações) atribuído às DMUs da amostra para a construção da unidade virtual de referência (unidade de *benchmark*).

Para manter a uniformidade de interpretação usual da literatura econômica, o índice final de eficiência técnica (θ_{CRS}) é expresso pelo inverso do fator de expansão gerado pelo modelo:

$$\theta_{CRS} = \frac{1}{\phi_o}$$

Desse modo, se $\theta_{CRS} = 1$ (ou $\phi_o = 1$), a unidade federativa posiciona-se sobre a fronteira e é classificada como globalmente eficiente. Se $\theta_{CRS} < 1$, a unidade é ineficiente, indicando que os seus produtos poderiam ser expandidos em uma proporção de (θ_{CRS}) sem qualquer acréscimo de insumos.

3.1.2 Modelo VRS (Variable Returns to Scale) com Orientação a Outputs

Considerando que as assimetrias regionais brasileiras impõem escalas operacionais profundamente heterogêneas entre as unidades federativas, a premissa de retornos constantes pode penalizar estados que operam fora da dimensão ideal por restrições estruturais. Para isolar esses efeitos, aplica-se o modelo VRS, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), que acomoda economias ou deseconomias de escala ao admitir retornos crescentes, decrescentes ou constantes (Paradi; Sherman; Tam, 2018).

O modelo VRS afere a chamada Eficiência Técnica Pura, mensurando se a gestão dos recursos é eficiente independentemente do porte da DMU. Matematicamente, o modelo introduz uma restrição de convexidade ao PPL do envelopamento, garantindo que a unidade sob análise seja comparada unicamente com estados de porte similar (Cooper; Seiford; Tone, 2007). A formulação matemática do modelo VRS orientado a *outputs* é dada por:

$$\text{Maximizar } \phi_o$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi_o y_{ro}, \forall r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n$$

A inclusão da restrição $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ impede que os *benchmarks* observados sejam extrapolados linearmente para escalas irrealistas, alterando o formato da fronteira de uma superfície cônica (CRS) para um envelope convexo fragmentado (VRS).

Assim como na modelagem anterior, o escore final de eficiência técnica pura é computado por $\theta_{VRS} = 1/\phi_o$. Onde $\theta_{VRS} = 1$ indica eficiência técnica intrínseca ao nível de operação atual. A articulação analítica entre ambos os modelos permite, por fim, isolar a chamada Eficiência de Escala (*EE*), calculada pela razão direta entre os dois indicadores obtidos:

$$EE = \frac{\theta_{CRS}}{\theta_{VRS}}$$

Quando $EE = 1$, a DMU opera em sua escala ótima global; valores inferiores à unidade ($EE < 1$) revelam que, embora o estado possa apresentar uma gestão interna correta (eficiente no VRS), incorre em perdas econômicas decorrentes de uma dimensão operacional subótima.

3.2 Definição, Organização e Justificativa das Variáveis

A definição das variáveis utilizadas na análise de eficiência foi baseada na mobilização de fatores produtivos (*inputs*) e na geração de produtos (*outputs*). Cada um desses fatores é analisado dentro do seu respectivo contexto, permitindo compreender de que forma contribuem para a eficiência produtiva das unidades avaliadas.

3.2.1 Definição e Organização dos Inputs

As variáveis selecionadas como *inputs* para a análise DEA da eficiência na produção leiteira entre as Unidades Federativas brasileiras estão organizadas no Quadro 1, juntamente com as respectivas fontes de informação.

Quadro 1 - Insumos utilizados/unidades e fonte das informações utilizados nos modelos DEA

Insumos	Unidade	Fonte
Vínculos	Quantidade	Ministério do Trabalho
Estabelecimentos	Quantidade	Ministério do Trabalho
Área de Pastagem	Km ²	IBGE
Crédito Rural	Milhões R\$)	IPEADATA

Fonte: Brasil; IBGE; IPEADATA, 2024. Elaboração dos autores.

A seleção desses insumos fundamenta-se na teoria neoclássica da produção, que preconiza a combinação dos fatores terra, trabalho e capital para a geração de riquezas. Diante da indisponibilidade de dados censitários anuais contínuos para todas as unidades federativas no ano de 2020, adotou-se o uso de variáveis substitutas (*proxies*) consolidadas na literatura econômica para capturar a dinâmica do setor:

- **Vínculos (Fator Trabalho):** Representa o estoque de mão de obra alocada formalmente na atividade. A justificativa econômica para o seu uso reside na necessidade de mensurar a eficiência do emprego regular no agronegócio leiteiro. Os dados foram extraídos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho, utilizando-se os microdados da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE Subclasse 2.0) por meio dos códigos “Criação de bovinos para leite”, “Preparação do leite” e “Comércio atacadista de leite e laticínios”. Esta delimitação metodológica permite capturar o fator trabalho tanto na base primária quanto nos elos imediatos de processamento local, refletindo a força de trabalho formal estrutural de cada UF.
- **Estabelecimentos (Capital Físico / Estrutura Operacional):** Em economia agrária, mensurar o capital físico estrito (maquinários, ordenhadeiras mecânicas, tanques de resfriamento) em nível macroeconômico constitui um desafio metodológico devido à escassez de séries anuais georreferenciadas. Desse modo, o número de estabelecimentos formais ativos operou como uma *proxy* para a capacidade instalada e para a infraestrutura física disponível em cada estado. Pressupõe-se que a variação na quantidade destas unidades territoriais distintas reflete a distribuição espacial das plantas de captação e produção, permitindo avaliar se a dispersão das unidades físicas afeta a eficiência do setor.

- **Área de Pastagem (Recurso Natural / Terra):** Representa a dimensão territorial mobilizada para o suporte alimentar do rebanho bovino leiteiro. A inclusão deste fator é indispensável para análises de eficiência agropecuária, pois permite discriminar estados que alcançam elevados volumes de produção por meio do uso intensivo do solo (sistemas de confinamento ou semiconfinamento) daqueles que dependem da expansão horizontal extensiva da fronteira agrícola. Os dados foram extraídos do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do IBGE (2024), isolando-se o estoque em quilômetros quadrados para o ano de 2020.
- **Crédito Rural (Capital Financeiro):** Atua como o elemento viabilizador de investimentos em tecnologia, custeio pecuário e modernização produtiva. O volume financeiro foi calculado pelo somatório do “Estoque de crédito rural - comercialização - pecuária” e do “Fluxo de crédito rural - custeio - pecuária” junto ao IPEADATA (2024). A justificativa econômica de sua inclusão repousa no papel do crédito como redutor de restrições de liquidez no campo, sendo uma variável essencial para verificar se o direcionamento de recursos subvencionados pelo Estado tem se traduzido em ganho de eficiência técnica relativa nas diferentes regiões do país.

3.2.2 Definição e Organização dos Outputs

Os outputs ou produtos representam as capacidades produtivas geradas a partir dos insumos disponíveis. No caso da produção leiteira, foram adotadas as variáveis quantidade e valor da produção como medidas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Produtos/Unidade e fonte das informações utilizados no modelo DEA

Produtos	Unidade	Fonte
Quantidade	Mil litros	IBGE
Valor da Produção	Mil reais	IBGE

Fonte: IBGE (2024). Elaboração dos autores.

- **Quantidade (mil litros):** Os dados sobre a produção de leite foram retirados da Pesquisa de Produção Pecuária Municipal (PPM) do IBGE (2024), especificamente na subseção “Produção de origem animal”. Para garantir a normalização do período analisado, os valores de 2020 foram selecionados.
- **Valor da Produção (em mil reais):** Esta variável também foi obtida na PPM do IBGE (2024), na subseção “Produção de origem animal”, utilizando-se os dados monetários nominais consolidados do ano de 2020.

3.2.3 Tabulação e Softwares Utilizados

Os dados de corte transversal (*cross-section*) foram organizados em planilhas eletrônicas contendo a identificação das 27 DMUs (as UFs) e as suas dotações de fatores e produtos. Após a consistência do banco de dados, o arquivo foi processado no software Sistema de Apoio Integrado à Decisão (SIAD), versão 3.0, ambiente desenvolvido para pesquisas

operacionais computacionais capaz de solucionar problemas de programação linear através dos modelos DEA clássicos (MEZA et al., 2007).

4 Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a base empírica estrutural coletada para todas as bacias estaduais, contendo os valores absolutos observados que serviram ao cálculo dos envelopes de eficiência técnica nacional.

Tabela 1 - UF, Inputs e Outputs da Produção Leiteira das Unidades Federativas Brasileiras (2020)

UF	Inputs				Outputs	
	Vínculos	Estabelecimentos	Pastagem	Crédito Rural	Litros	Valor
Acre	110	38	12.795	249.302.657	42.561	48.222
Alagoas	803	104	2.723	224.996.154	615.297	955.727
Amapá	131	11	144	1.737.045	4.848	12.111
Amazonas	68	17	8.413	63.326.624	43.533	69.263
Bahia	4.501	1.839	55.429	1.594.190.948	1.064.599	1.657.768
Ceará	1.349	136	915	544.001.392	871.529	1.419.912
Distrito Federal	714	92	209	9.898.310	29.275	43.913
Espírito Santo	2.045	1.140	9.823	408.706.726	392.474	656.647
Goiás	9.875	6.138	152.34	5.715.070.562	3.173.510	4.718.368
Maranhão	590	209	63.159	1.325.124.797	358.278	482.293
Mato Grosso	756	427	189.553	4.699.878.663	617.992	816.757
Mato Grosso do Sul	826	384	149.910	3.204.371.462	292.332	397.582
Minas Gerais	40.286	18.645	114.876	6.589.994.278	9.692.389	15.991.870
Pará	952	505	157.510	1.866.449.747	599.573	839.388
Paraíba	274	99	1.098	306.849.230	252.423	381.535
Paraná	6.481	1.618	18.739	4.055.322.878	4.671.014	7.837.084

Pernambuco	1.457	175	4.462	534.219.461	1.036.756	1.636.159
Piauí	368	60	1.454	397.132.449	69.342	151.553
Rio de Janeiro	5.853	2.034	6.264	222.169.554	441.076	684.051
Rio Grande do Norte	624	130	2.176	173.436.867	290.768	538.436
Rio Grande do Sul	3.261	633	786	3.675.634.401	4.249.805	6.869.770
Rondônia	1.387	418	70.973	2.267.940.915	925.803	1.084.738
Roraima	14	9	1.455	117.573.858	15.310	27.538
Santa Catarina	2.189	389	1.301	2.890.818.739	3.137.219	5.050.848
São Paulo	19.224	4.294	35.905	3.922.802.809	1.645.653	2.809.204
Sergipe	686	295	3.583	239.524.614	360.093	540.771
Tocantins	918	552	58.811	1.788.246.878	423.214	626.678
Brasil	105.742	40.391	1.124.820	47.088.722.014	35.316.666	56.348.186

Fonte: Elaboração dos autores.

A partir desse conjunto de dados, os índices de eficiência técnica foram gerados. A Tabela 2 consolida os índices de eficiência obtidos para cada unidade federativa em ambos os modelos. Os escores variam de 0,1892 (menor eficiência observada, registrada pelo estado de São Paulo no modelo CRS) até 1,0000, indicador de eficiência técnica plena e posicionamento sobre a fronteira de produção observada.

Tabela 2 - Resultados do Teste DEA para as UF Brasileiras – Modelos CRS e VRS

UF	CRS	VRS
Acre	0,2700	0,2780
Alagoas	1,0000	1,0000
Amapá	1,0000	1,0000
Amazonas	0,5423	1,0000
Bahia	0,2907	0,4648
Ceará	1,0000	1,0000
Distrito Federal	1,0000	1,0000
Espírito Santo	0,3743	0,4723
Goiás	0,3356	0,6077
Maranhão	0,4237	0,4255
Mato Grosso	0,5704	0,5720
Mato Grosso do Sul	0,2469	0,2476
Minas Gerais	0,5615	1,0000

Pará	0,4394	0,4403
Paraíba	0,7060	0,8494
Paraná	0,7732	1,0000
Pernambuco	0,9512	1,0000
Piauí	0,2037	0,2275
Rio de Janeiro	0,7120	0,7265
Rio Grande do Norte	0,7325	0,7548
Rio Grande do Sul	1,0000	1,0000
Rondônia	0,4657	0,4662
Roraima	0,8525	1,0000
Santa Catarina	1,0000	1,0000
São Paulo	0,1892	0,3411
Sergipe	0,6473	0,6565
Tocantins	0,3217	0,3224

Fonte: Elaboração dos autores.

A média nacional de eficiência técnica fixou-se em 0,6041 para o modelo CRS e 0,7230 para o modelo VRS. Esses patamares evidenciam um cenário macroeconômico de subotimização no uso dos fatores de produção. Em termos práticos, sob a ótica da orientação a *outputs*, o Brasil possui espaço para expandir substancialmente o volume físico (litros) e o valor monetário de sua produção leiteira sem a necessidade de incorporar novas áreas de pastagem, injetar novos volumes de crédito rural ou expandir a força de trabalho formal. Bastaria, para tanto, que as UFs ineficientes emulassem as práticas de alocação de insumos observadas nos seus respectivos *benchmarks* de fronteira.

Essa variação expressiva de desempenho encontra forte sustentação teórica e empírica na literatura agropecuária nacional, cujos estudos regionais pontuais costumam situar as médias de eficiência técnica setorial exatamente entre as faixas de 0,58 a 0,71 (modelos lineares e aditivos) e 0,74 a 0,81 (modelos com convexidade variável). A confirmação dessas médias em nível federativo macroeconômico corrobora os diagnósticos de Magalhães e Campos (2006) e Peres, Costa e Leal (2021).

4.1 Análise das UFs de Eficiência Plena Global (Fronteira CRS)

No modelo CRS, que opera sob o pressuposto de retornos constantes de escala (onde variações nos inputs geram respostas perfeitamente proporcionais nos outputs), seis UFs alcançaram a fronteira de eficiência máxima (1,0000): Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Essa configuração de fronteira revela dois fenômenos distintos que merecem interpretação econômica detalhada:

- **Os Polos Tradicionais de Alta Produtividade (Região Sul):** O posicionamento de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul na fronteira global reflete determinantes estruturais consolidados. Conforme apontado por Almeida e Bacha (2021), a cadeia de laticínios nestes estados é caracterizada por uma forte integração agroindustrial, regimes cooperativos consolidados (que reduzem custos de transação e otimizam a logística de captação de matéria-prima) e densidade tecnológica superior. Santa Catarina, por exemplo, extraiu uma produção expressiva de mais de 3,1 bilhões de litros de leite em 2020 utilizando uma área de pastagem comparativamente diminuta (1.301 km²), o que

indica alta conversão pasto-leite decorrente de melhoramento genético do rebanho, manejo rotacionado e suplementação nutricional adequada.

- **O Efeito de Fronteira por Especialização ou Insumos Reduzidos:** A inclusão de UFs como Amapá e Distrito Federal na fronteira CRS não decorre de expressividade volumétrica (o Amapá registrou o menor volume nacional, com 4.848 mil litros), mas sim de uma otimização matemática estrita em relação aos insumos declarados. O Amapá operou com apenas 11 estabelecimentos registrados e um estoque mínimo de crédito rural (R\$ 1,73 milhão). Como a DEA afere a eficiência *relativa*, unidades com dotações de insumos extremamente baixas que conseguem gerar um output proporcional mínimo acabam sendo empurradas para a fronteira por falta de comparabilidade direta com unidades de grande porte, configurando um nicho de eficiência em escala reduzida.
- **A Eficiência Adaptativa do Nordeste (Ceará e Alagoas):** O Ceará destaca-se como um caso emblemático de eficiência adaptativa no Semiárido. Mesmo diante de restrições hídricas severas e operando com um volume de crédito rural intermediário (R\$ 544 milhões), o estado consolidou 871,5 milhões de litros de leite e obteve o maior valor de produção da região Nordeste (R\$ 1,41 bilhão). Esse desempenho indica o sucesso de estratégias institucionais focadas na pecuária leiteira intensiva familiar, amparada por técnicas de convivência com o clima e introdução de raças adaptadas, corroborando as análises de eficiência regional propostas por Magalhães e Campos (2006).

4.2 A Dinâmica de Escala e os Efeitos da Flexibilização (Fronteira VRS)

Ao transitar para o modelo VRS, o qual neutraliza o efeito do tamanho da operação ao admitir retornos variáveis (introduzindo a restrição de convexidade $\sum \lambda_j = 1$), o número de unidades eficientes saltou de seis para dez. Passaram a integrar a fronteira os estados do Amazonas, Minas Gerais, Paraná e Pernambuco, além de Roraima.

Essa alteração metodológica joga luz sobre um dos debates mais intensos da economia agrária brasileira: a relação entre o tamanho absoluto da produção e a eficiência técnica gerencial. O caso do estado de Minas Gerais é o mais ilustrativo desse comportamento. Maior produtor nacional histórico, registrando em 2020 mais de 9,6 bilhões de litros de leite e um faturamento setorial de R\$ 15,9 bilhões, o estado apresentou um escore CRS ineficiente de 0,5615, mas atingiu a eficiência plena (1,0000) sob o modelo VRS.

Economicamente, esse resultado indica que Minas Gerais possui uma eficiência técnica pura elevada (gerenciamento adequado de seus processos internos), porém sofre de sérias ineficiências de escala. A imensa heterogeneidade interna mineira — que abriga desde sistemas de confinamento altamente tecnificados no Triângulo Mineiro até propriedades de subsistência de baixíssima produtividade no Vale do Jequitinhonha — gera deseconomias de escala agregadas. O estado mobiliza um volume gigantesco de fatores produtivos: são mais de 40 mil vínculos formais e 18,6 mil estabelecimentos pulverizados. A DEA VRS reconhece que, dado o gigantismo da operação mineira, o estado extrai o máximo possível em termos absolutos, mas aponta que, se sua estrutura fosse reorganizada em unidades produtivas operando em escalas ótimas globais (como o modelo catarinense), os mesmos insumos poderiam render outputs significativamente maiores.

O mesmo fenômeno aplica-se ao Paraná (CRS de 0,7732 para VRS de 1,0000). O estado sulista possui bacias leiteiras altamente eficientes e tecnificadas (como a região de Castro), mas

a média estadual é puxada para baixo no modelo CRS devido à saturação de fatores ou inadequações na escala operacional de parte de seus produtores de menor porte, uma dinâmica de diferenciação tipológica já prevista nos modelos de clusterização de Gomes et al. (2005).

4.3 As Raízes Econômicas e Estruturais da Ineficiência Agregada

Quinze UFs permaneceram classificadas como tecnicamente ineficientes em ambas as formulações matemáticas da DEA, revelando gargalos institucionais e operacionais crônicos na gestão da atividade laticinista.

O resultado mais surpreendente e que demanda profunda reflexão econômica diz respeito ao estado de São Paulo. Detentor do menor índice CRS da amostra (0,1892) e de um escore VRS de apenas 0,3411, o território paulista operou em patamar severamente subótimo em 2020. Embora tenha mobilizado o segundo maior contingente de mão de obra formal (19.224 vínculos) e absorvido quase R\$ 4 bilhões em crédito rural, São Paulo gerou apenas 1,6 bilhão de litros de leite.

Esta ineficiência sistêmica paulista decorre de três fatores estruturais principais:

1. **Custo de Oportunidade da Terra:** O setor leiteiro em São Paulo compete diretamente com culturas agrícolas de altíssimo valor agregado e escala agroindustrial agressiva, notadamente a cana-de-açúcar e a citricultura. Isto empurra a atividade pecuária para terras marginais ou encarece drasticamente os custos operacionais (aluguel de pastagens e insumos), reduzindo a margem de conversão técnica.
2. **Deserção Logística e Perfil do Vínculo Empregatício:** O elevado número de vínculos formais computados na CNAE paulista pode estar concentrado em estruturas administrativas corporativas, agroindústrias de processamento secundário e sedes comerciais (comércio atacadista de leite e laticínios) localizadas no estado, e não necessariamente na atividade primária de ordenha e manejo no campo. Como a DEA confronta o total de vínculos com a produção primária gerada na PPM, esta distorção de perfil infla o *input* trabalho sem contrapartida direta no *output* volume, penalizando o escore de eficiência técnica da UF.
3. **Falta de Assistência Técnica Continuada:** Como bem demonstram Buss, Sabbag e Mendieta (2020) e Gomes et al. (2024), estados com cadeias pulverizadas e sem programas horizontais de assistência gerencial continuada tendem a apresentar produtores operando às cegas em termos de custos, resultando no uso subótimo de insumos caros (como ração concentrada e medicamentos) e gerando ineficiência técnica severa.

Na outra ponta geográfica, as UFs da Região Norte como Pará (0,4394 no CRS) e Rondônia (0,4657) também exibem escores de eficiência rebaixados, mas por razões distintas das observadas no Sudeste. Nestes estados, a pecuária leiteira é predominantemente extensiva, atuando como uma atividade secundária ou de liquidez diária associada à pecuária de corte (sistemas de dupla aptidão). O Pará mobiliza uma imensa área de pastagem (157.510 km²) para extrair apenas 599,5 milhões de litros. Esta baixíssima densidade produtiva por quilômetro quadrado reflete a falta de tecnificação, pastagens frequentemente degradadas e ausência de

canais formais de escoamento e resfriamento do leite, forçando o produtor a converter o excedente em queijos artesanais subnotificados ou a operar com grandes desperdícios. Este diagnóstico valida a tese de Silva et al. (2025), que aponta que o isolamento logístico e a carência crônica de treinamento gerencial são os principais vetores da ineficiência leiteira nas fronteiras agrícolas brasileiras.

5 Conclusão

Este estudo cumpriu o objetivo de avaliar de forma macroeconômica e unificada a eficiência da produção leiteira nas 27 Unidades Federativas brasileiras para o ano de 2020. A aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) sob os pressupostos de retornos constantes (CRS) e variáveis de escala (VRS) permitiu mapear as profundas assimetrias técnicas e gerenciais que caracterizam a cadeia de lácteos no federalismo brasileiro.

Os resultados consolidados revelam que a atividade leiteira opera sob um expressivo cenário de subotimização de seus fatores produtivos. A média nacional de eficiência técnica global de 0,6041 (CRS) indica que, mantendo-se perfeitamente fixos os estoques de terra, mão de obra formal e capital financeiro injetados no campo, o Brasil possuía um potencial teórico para expandir em quase 40% o volume físico e o valor de sua produção de leite. Ao isolar o efeito do porte operacional por meio do modelo VRS (cuja média se elevou para 0,7230), evidenciou-se que parte expressiva dessa ineficiência agregada não decorre de incapacidade gerencial interna, mas sim de graves distorções de escala que penalizam inclusive grandes polos históricos, como Minas Gerais e Paraná.

O comportamento diferenciado das UF's na fronteira de produção joga luz sobre os caminhos estratégicos necessários para o desenvolvimento do setor. Enquanto estados da Região Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e polos específicos do Nordeste (Ceará e Alagoas) consolidam a sua presença na fronteira CRS devido à forte integração agroindustrial, densidade tecnológica superior e eficiência adaptativa, bacias tradicionais como São Paulo operam em níveis severamente subótimos devido ao elevado custo de oportunidade da terra e à alocação ineficiente do fator trabalho formal. Na Região Norte, os baixos índices do Pará e de Rondônia expõem os gargalos de uma atividade ainda predominantemente extensiva e de baixa densidade produtiva, carente de canais formais de escoamento e de assistência técnica continuada.

As implicações político-econômicas deste trabalho são multifacetadas e servem de subsídio para formuladores de políticas públicas, associações de produtores e órgãos de extensão rural. A identificação das UF's eficientes estabelece *benchmarks* práticos cuja governança setorial — baseada no cooperativismo capilarizado e no manejo rotacionado intensivo — deve ser emulada pelas unidades deficitárias. Para além da mera injeção de recursos financeiros, o estudo demonstra que o foco governamental deve transitar para a universalização de programas de assistência técnica gerencial continuada, capacitando o produtor para a otimização dos insumos operacionais e para o ajuste fino de sua escala de produção.

Como limitações inerentes à modelagem empírica realizada, destaca-se o recorte transversal adstrito ao ano de 2020, o qual pode absorver impactos atípicos decorrentes das dinâmicas de mercado e da pandemia de COVID-19, não capturando ciclos produtivos

plurianuais. Adicionalmente, embora as variáveis substitutas (*proxies*) utilizadas se tenham mostrado metodologicamente robustas, o modelo DEA determinístico não incorpora de forma direta fatores qualitativos exógenos de extrema relevância, tais como o índice pluviométrico regional, a qualidade genética específica do rebanho e o nível de instrução formal da mão de obra familiar não assalariada.

Como direções para pesquisas futuras, sugere-se fortemente a expansão desta abordagem macroeconômica por meio de painéis de dados longitudinais (análise de séries temporais), combinados com a aplicação do Índice de Produtividade de Malmquist, o que permitirá decompor as variações de desempenho ao longo do tempo em ganho de eficiência técnica pura (*catch-up*) e progresso tecnológico (*shifts* na fronteira). Recomenda-se, por fim, a realização de investigações qualitativas focadas nas práticas de governança das bacias do Semiárido e da Região Sul que alcançaram a fronteira global, a fim de extrair lições estruturais replicáveis para a modernização sustentável da pecuária leiteira nacional.

Referências

- ALMEIDA, Mariza De; BACHA, C. J. C. Literatura sobre a Eficiência da Produção Leiteira Brasileira. *Revista de Política Agrícola*, v. 30, n. 1, p. 20–33, 2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1575>. Acesso em: 12 fev. 2026.
- ATICI, Kazim Baris; PODINOVSKI, Victor V. Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture. *Omega*, v. 54, p. 72–83, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048315000171>. Acesso em: 3 mar. 2026.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1287/mnsc.30.9.1078>. Acesso em: 7 abr. 2026.
- BASSOTTO, Leandro Carvalho et al. Technical efficiency in family dairy farms in the State of Minas Gerais in 2021. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/7BpFKG8WYgxXsCnqXXKBPwQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível em: <http://pdet.mte.gov.br/aceso-online-as-bases-de-dados>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- BUSS, Raquel Eberhard; SABBAG, Omar Jorge; MENDIETA, Fábio Henrique Paniagua. Eficiência da produção leiteira na microrregião de Dourados/MS: aplicação da análise envoltória de dados. *Exacta*, v. 18, n. 3, p. 649–667, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/12360?articlesBySimilarityPage=13>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221778901388>. Acesso em: 9 fev. 2026.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). A pecuária de leite no Brasil: Diagnósticos e Perspectivas. Brasília: CNA, 2021.
- COOPER, William; SEIFORD, Lawrence; TONE, Kaoru. *Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. 2. ed. New York:

Springer, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-45283-8>. Acesso em: 22 abr. 2026.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. International Series in Operations Research & Management Science, v. 164, p. 1–39, 2011. Disponível em: https://ideas.repec.org/h/spr/isochp/978-1-4419-6151-8_1.html. Acesso em: 14 maio 2026.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 18 jun. 2025.

FOX, P.; UNIACKE-LOWE, T.; MCSWEENEY, P.; O'MAHONY, J. Química e bioquímica de laticínios. Cham, Suíça: Springer International Publishing, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14892-2>. Acesso em: 6 fev. 2026.

GOMES, Adriano Provezano et al. Assistência Técnica, Eficiência e Rentabilidade na Produção de Leite. Revista de Política Agrícola, v. 27, n. 2, p. 79–94, 2018. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1414>. Acesso em: 17 abr. 2026.

GOMES, Adriano Provezano et al. Custos, eficiência e rentabilidade na atividade leiteira. Custos e Agronegócio, v. 20, n. 2, p. 139–160, 2024. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v20/OK%207%20leiteira.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2026.

GOMES, Eliane et al. DEA performance evaluation of livestock systems in Brazil. In: CHARLES, V.; KUMAR, M. (Org.). Data Envelopment Analysis and Its Applications to Management. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 2012. p. 224–238. Disponível em: <https://dokumen.pub/data-envelopment-analysis-and-its-applications-to-management-9781443841320-1443841323.html>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GOMES, Eliane Gonçalves et al. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 43, n. 4, p. 607–631, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/ncSqKwGQvzb4sYV3wpdNHB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Econômicas Ambientais da Terra: Contabilidade Física. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7319>. Acesso em: 25 jun. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/cobertura_e_uso_da_terra/monitoramento/grade_estatistica/serie_revisada_2022/tabelas/Mudancas_Estoques_xls/UFs/. Acesso em: 19 maio 2026.

KOČIŠOVÁ, K. Application of DEA models for efficiency evaluation. Economic Annals-XXI, v. 155, n. 11-12, p. 110-114, 2015. Disponível em: https://agricecon.agriculturejournals.cz/artkey/age-201502-0001_application-of-the-dea-on-the-measurement-of-efficiency-in-the-eu-countries.php. Acesso em: 8 abr. 2026.

MAGALHÃES, Klinger Aragão; CAMPOS, Robério Telmo. Eficiência técnica e desempenho econômico de produtores de leite no Estado do Ceará, Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 44, n. 4, p. 695–711, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/gxQsSQmXLrycCwH59Q6zytk/?lang=pt>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MARQUES, M. G. M. et al. Consumo de leite de vaca pelo ser humano: uma atualização baseada em evidências. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 7, n. 1, p. 7709-7717, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/67696>. Acesso em: 10 jun. 2026.

MEZA, L. A. et al. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia eléctrica. *Investigação Operacional*, v.27, 21-36, 2007. Disponível em: <https://www.academia.edu/25546687/Selecao-de-variaveis-em-DEA-aplicada-a-uma-analise-do-mercado-de-energia-elctrica>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MURPHY, K. et al. A composição do leite humano e da microbiota fecal infantil durante os três primeiros meses de vida: um estudo piloto. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep40597>. Acesso em: 5 maio 2026.

PARADI, Joseph C.; SHERMAN, H. David; TAM, Fai Keung. *Data Envelopment Analysis in the Financial Services Industry: A Guide for Practitioners and Analysts Working in Operations Research Using DEA*. Springer, v. 266, 2018. Disponível em: <https://www.springerprofessional.de/data-envelopment-analysis-in-the-financial-services-industry/15247248>. Acesso em: 23 mar. 2026.

PERES, Marcella Borba Martins; COSTA, Tatiane Bendo Da; LEAL, Edvalda Araujo. Análise de eficiência técnica e de escala aplicado aos custos da pecuária leiteira familiar. *Custos e Agronegócio*, v. 17, n. 3, p. 279–209, 2021. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv17/OK%2015%20escala.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PIEIDADE, Diego Dobscha da Cruz et al. Análise de Eficiência de Produtores de Leite em Minas Gerais Através da DEA. *Revista FSA*, v. 20, n. 1, p. 284–308, 2023. Disponível em: <https://revista.unifsa.com.br/index.php/fsa/article/view/2624>. Acesso em: 15 maio 2026.

ROCHA, A. Eficiência técnica e de escala em diferentes sistemas familiares de produção de leite da microrregião de Uberlândia (MG), 2017. 45 f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19888>. Acesso em: 30 abr. 2026.

SILVA, H. A. et al. Ferramentas de gestão na pecuária leiteira familiar no sudoeste da Amazônia: estudo de caso. *Scientia Naturalis*, v. 7, n. 1, p. 182-192, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/269504.7.1-15>. Acesso em: 24 jun. 2026.

VARIAN, Hal R. *Microeconomia: uma abordagem moderna*. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

VLONTZOS, G.; NIAVIS, S.; MANOS, B. A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 91-96, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006054>. Acesso em: 4 mar. 2026.

WORLD POPULATION REVIEW (WPR). *Cattle Population by Country 2020*. WPR, 2024. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cattle-population-by-country>. Acesso em: 11 jun. 2026.

Regulação de Transportes e Avanços do Setor Público no Brasil: uma Análise das Conquistas e Desafios Recentes

Transport Regulation and Advances in the Public Sector in Brazil: An Analysis of Recent Achievements and Challenges

Júlia Taboza Brunacci²

Geovana Lorena Bertussi³

Luis Guilherme Alho Batista⁴

Este artigo analisa a evolução da qualidade regulatória no Brasil nos últimos anos, com ênfase no setor de transportes para infraestrutura logística interurbana — aeroportos, portos e hidrovias, rodovias e ferrovias. O trabalho mapeia historicamente os marcos legais e institucionais, revisa literatura acadêmica (incluindo estudos sobre a independência das agências reguladoras, a qualidade regulatória e investimento privado), identifica limites e desafios da regulação brasileira e examina os avanços recentes. As implicações são tanto microeconômicas (eficiência, competição, redução de custos, qualidade de serviço) quanto macroeconômicas (produtividade, competitividade, atração de investimentos, integração regional). O contexto setorial demonstra a trajetória de avanços regulatórios acompanhados de intensificação do volume de investimentos nos últimos três anos, melhorias no arcabouço normativo e nas práticas de governança. A expectativa de continuidade dos avanços institucionais contribui para a perspectiva de consolidação favorável do setor.

Palavras-chave: qualidade regulatória; transportes; setor público.

This article analyzes the evolution of regulatory quality in Brazil over the past years, with an emphasis on the transport sector—specifically interurban logistics infrastructure (airports, ports/waterways, highways, and railways). It maps legal and institutional milestones, reviews academic literature (including studies on regulatory-agency independence, regulatory quality, and private investment), identifies limits and challenges of Brazilian regulation, and examines recent advances. The implications are both microeconomic (efficiency, competition, cost reduction, service quality) and macroeconomic (productivity, competitiveness, investment attraction, regional integration). The sectoral context shows a trajectory of regulatory improvements accompanied by an intensification of investment volumes in the past three years, including recent enhancements to the legal and regulatory framework, the institutional investment cycle, and governance practices. The expectation of continued institutional progress supports a favorable consolidation outlook for the sector.

Keywords: regulatory quality; transportation; public sector.

JEL Classification: L51; R48; R42

² Graduanda em Economia na Universidade de Brasília (UnB). E-mail: jtbrunacci@gmail.com

³ Graduada em Ciências Econômicas e doutora em Economia pela UnB. Mestra em Economia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora associada do Departamento de Economia da UnB. E-mail: geovanalorena@unb.br

⁴ Bacharel em Ciências Econômicas e doutorando em Economia pela UnB. Mestre em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialista em Gestão Pública pela AVM. Professor de Métodos Quantitativos em Economia na Universidade do Distrito Federal (UnDF). Sócio da Pakt Consultoria e Assessoria, associada à Charles River Associates. E-mail: Lgabatista@gmail.com

1 Introdução

A qualidade regulatória tornou-se, no século XXI, um dos fatores de competitividade econômica e de eficiência na gestão do setor público. No Brasil, essa discussão ganha relevância especial diante do peso da infraestrutura de transportes para a integração territorial e para a produtividade. Nesse sentido, o Brasil vem implementando diversas reformas regulatórias que impactam de forma significativa o setor de infraestrutura de modo geral e, em especial, o setor de transportes. Movimentos como concessões, autorizações, regulação tarifária, novos modelos contratuais, fortalecimento e aumento do grau de independência das agências reguladoras e instrumentos de avaliação institucional ganharam protagonismo no debate político e nas normas legais.

A regulação de qualidade, entendida como aquela que promove previsibilidade, transparência, equidade, segurança jurídica, eficiência e *accountability*, é peça central para reduzir custos logísticos e estimular investimentos. A literatura internacional e estudos de organismos multilaterais apontam que a qualidade regulatória contribui para maior previsibilidade institucional e para a melhoria do ambiente de investimentos (World Bank, 2023; OCDE, 2022). No caso brasileiro, os desafios associados ao ambiente de negócios também se refletem no desempenho logístico do país. Em 2023, o Brasil ocupou a 51ª posição entre 139 países no *Logistic Performance Index* (LPI)⁵ do Banco Mundial, resultado que sugere limitações à competitividade internacional das exportações brasileiras (World Bank, 2023).

A justificativa deste artigo está, portanto, em analisar de forma crítica e histórica os avanços regulatórios no setor de transportes, área estratégica para a economia brasileira. A literatura nacional e internacional aponta que marcos legais claros e instituições regulatórias independentes criam ambiente de negócios mais previsível, atraindo capital privado e estimulando ganhos de produtividade (Levy; Spiller, 1996). No caso brasileiro, tais avanços não são fruto de um governo específico, mas de uma trajetória de política de Estado, que atravessou diferentes mandatos presidenciais e se consolidou ao longo das últimas duas décadas.

O objetivo principal deste artigo é examinar a evolução da qualidade regulatória brasileira no século XXI, com foco na infraestrutura logística interurbana de transportes (aeroportos, portos e hidrovias, rodovias e ferrovias). Especificamente, buscou-se: (i) mapear os principais marcos legais e institucionais que moldaram o ambiente regulatório; (ii) analisar os avanços em cada subsetor de transportes; (iii) apresentar literatura acadêmica sobre qualidade regulatória, independência das agências e relação com investimentos privados; (iv) identificar limitações e desafios persistentes; e (v) avaliar os avanços recentes da agenda regulatória e do setor de transportes no governo Lula 3 (2023–2025).

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritivo-analítica, de abordagem qualitativa, fundamentada em revisão narrativa da literatura e pesquisa documental. Foram analisados marcos legais, atos normativos, relatórios institucionais, estudos produzidos por organismos nacionais e internacionais e literatura acadêmica sobre qualidade regulatória,

⁵ O LPI analisa o desempenho dos países considerando vários indicadores: a qualidade do comércio e infraestrutura logística, a eficiência no controle e desembaraço aduaneiro, a competência e qualidade dos serviços logísticos prestados, facilidade de contratação e preços competitivos, possibilidade de rastreabilidade da carga e cumprimento de prazos e entregas (World Bank, 2023).

independência das agências reguladoras e infraestrutura de transportes. A seleção das fontes privilegiou documentos diretamente relacionados ao tema e publicados, predominantemente, nas últimas duas décadas, sem prejuízo da utilização de referências clássicas consideradas fundamentais para a compreensão do desenvolvimento institucional brasileiro.

A análise foi realizada de forma interpretativa, buscando identificar a evolução dos principais marcos regulatórios, seus potenciais efeitos sobre o ambiente institucional e os desafios ainda existentes. Trata-se, portanto, de um estudo de natureza descritiva, que não pretende estimar relações causais nem mensurar quantitativamente os impactos das reformas regulatórias.

A relevância deste estudo é dupla. Do ponto de vista microeconômico, a qualidade regulatória afeta diretamente a eficiência da prestação dos serviços públicos delegados, a competição nos mercados de infraestrutura e a proteção e segurança dos usuários. Já na dimensão macroeconômica, a regulação influencia a capacidade de atrair investimentos, a formação bruta de capital fixo, a produtividade sistêmica e, em última instância, o crescimento econômico de longo prazo. Dessa forma, analisar a trajetória brasileira permite compreender não apenas o desempenho do setor público, mas também seu papel como indutor de desenvolvimento econômico e social.

Em um cenário no qual o setor público passa por dificuldades orçamentárias e financeiras nos últimos dez anos, ampliar a segurança jurídica, a estabilidade macroeconômica e atrair capital privado e estrangeiro para investir em infraestrutura nacional são caminhos desejáveis para a promoção do crescimento e desenvolvimento econômico do país.

O artigo está estruturado em cinco seções, além desta introdução. A segunda seção apresenta o panorama dos principais avanços regulatórios gerais nas últimas duas décadas. A terceira analisa os progressos ocorridos em subsetores de transportes — aeroportos, portos e hidrovias, rodovias e ferrovias. A quarta seção examina a evolução da independência das agências reguladoras e retoma brevemente a literatura acadêmica sobre qualidade regulatória e investimentos. A quinta seção aborda os avanços recentes do governo Lula 3 nesse setor, ressaltando o caráter de política de Estado das reformas. Por fim, são apresentadas as considerações finais, destacando os desafios e as perspectivas futuras para a regulação no Brasil.

2 Panorama legal e institucional da infraestrutura brasileira nos últimos anos

O debate sobre regulação no Brasil intensificou-se a partir da década de 1990, quando o Estado brasileiro, diante da necessidade de modernização da infraestrutura, adotou um modelo de delegação ao setor privado da execução e exploração de serviços, por meio de concessões, permissões e autorizações. Essa agenda demandou a criação de agências reguladoras independentes, responsáveis por garantir equilíbrio contratual, segurança jurídica e proteção do interesse público. A partir dos anos 2000, consolidou-se a percepção de que o fortalecimento institucional e normativo era condição indispensável para atrair investimentos privados em infraestrutura, reduzir gargalos logísticos e elevar a eficiência econômica.

O marco inicial da consolidação regulatória no Brasil ocorreu com a promulgação da Lei nº 8.987/1995, conhecida como Lei de Concessões, que estabeleceu as bases do regime de delegação de serviços públicos à iniciativa privada (Brasil, 1995). Essa legislação foi

fundamental para introduzir regras mais claras sobre contratos de concessão, prazos, tarifas e obrigações do concessionário, oferecendo maior previsibilidade jurídica para o investimento em infraestrutura. Sua importância histórica se deve ao fato de ter aberto espaço para um modelo em que o setor privado assumia papel central na execução e operação de serviços públicos essenciais, especialmente em telecomunicações, transportes e energia, mediante regulação estatal (Pires; Piccinini, 1999).

Posteriormente, um novo avanço ocorreu com a criação da Lei nº 11.079/2004, que instituiu o marco legal das Parcerias Público-Privadas (PPPs) (Brasil, 2004b). Essa lei complementou a de Concessões, ampliando as possibilidades de cooperação entre Estado e iniciativa privada. A principal inovação foi a possibilidade de o Estado realizar contraprestações financeiras ao parceiro privado, o que mitigou riscos e viabilizou projetos de maior complexidade e maturação mais longa. Dentro desse arranjo, as PPPs foram classificadas em dois tipos: (i) concessão patrocinada, quando a receita do concessionário provém de tarifas pagas pelos usuários acrescidas de aporte do Estado; e (ii) concessão administrativa, quando o concessionário é remunerado exclusivamente pelo poder público, sem cobrança direta dos usuários. Esse desenho jurídico foi particularmente relevante em setores como saneamento básico e infraestrutura social.

Outro avanço importante foi a Lei nº 10.871/2004, que regulamentou a organização funcional das agências reguladoras federais, definindo carreiras, atribuições e requisitos técnicos para os servidores (Brasil, 2004a). Essa medida fortaleceu a autonomia técnica e administrativa dessas instituições, assegurando que quadros especializados pudessem sustentar decisões regulatórias complexas com base em critérios técnicos, sob menor interferência política (Silva, 2010).

A década seguinte foi marcada pela busca de maior sofisticação institucional. Um dos pontos de destaque foi a criação do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), instituído em 2016 pela Lei nº 13.334/2016 (Brasil, 2016). O PPI surgiu em um contexto de restrição fiscal e crise econômica, com o objetivo de ampliar e acelerar a atração de capital privado para projetos de infraestrutura. Entre suas principais contribuições destaca-se a centralização e priorização de projetos de concessões e PPPs considerados estratégicos, promovendo maior coordenação entre órgãos governamentais e dando maior previsibilidade ao investidor privado.

Nesse mesmo esforço de modernização, a Lei nº 13.448/2017 representou outro marco importante (Brasil, 2017). Essa legislação regulamentou mecanismos de prorrogação antecipada de contratos de concessão, relicitação de ativos e adaptação de contratos em curso. Ao oferecer alternativas regulatórias em contextos de contratos problemáticos ou de investimentos adicionais, a lei reduziu incertezas jurídicas e criou incentivos para novas rodadas de investimentos privados. Especificamente para transportes, o dispositivo de relicitação foi fundamental: permitiu a devolução amigável de concessões inviáveis, preservando a continuidade dos serviços e atraindo novos operadores em condições mais equilibradas (Freitas; Turolla; Altoé Junior, 2025).

Em 2019, observou-se salto regulatório com a Lei nº 13.848, chamada Lei Geral das Agências Reguladoras (Brasil, 2019). Essa lei introduziu importantes inovações: mandatos fixos e não coincidentes para dirigentes, critérios técnicos mínimos para nomeações, elaboração obrigatória de agendas regulatórias plurianuais, realização de consultas e audiências públicas e

fortalecimento de mecanismos de prestação de contas. Ao consolidar práticas de governança regulatória em um marco único, a lei alinhou o Brasil a padrões internacionais (Pacheco, 2021).

No ano seguinte, o Decreto nº 10.411/2020 tornou obrigatória a Análise de Impacto Regulatório (AIR) no processo normativo das agências e ministérios (Brasil, 2020). A AIR se consolidou como ferramenta de racionalização da atividade regulatória, ao exigir que alternativas de regulação fossem comparadas com base em evidências e análise de custos-benefícios, em linha com as recomendações da OCDE (2012, 2022).

Por fim, a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, de nº 14.133/2021, substituiu a antiga Lei nº 8.666/1993 e incorporou inovações relevantes, como a obrigatoriedade de pregões eletrônicos, regras mais rigorosas de planejamento, matriz de riscos detalhada e maior padronização de instrumentos contratuais (Brasil, 2021a). No campo da infraestrutura, a lei trouxe maior segurança jurídica e previsibilidade, reduzindo o espaço para disputas contratuais e aumentando a confiança dos investidores (Justen Filho, 2021).

Mais recentemente, o Governo Federal relançou o Programa de Fortalecimento da Capacidade Institucional para Gestão em Regulação (PRO-REG), por meio do Decreto nº 11.738/2023, com o intuito de fomentar e aprimorar a coordenação do processo regulatório, para o seu fortalecimento, simplificação e maior eficiência (Brasil, 2023). Nesse contexto, o Decreto nº 12.150/2024 instituiu a Estratégia Nacional de Melhoria Regulatória (“Estratégia Regula Melhor”), que prevê, para os próximos dez anos, ações de centralização, acesso e transparência de informações sobre políticas e práticas regulatórias no Brasil em nível federal (Brasil, 2024a). Cabe monitorar se esses esforços recentes de integração para adoção de boas práticas regulatórias serão acompanhados de mecanismos que preservem a autonomia e incentivem a independência das agências reguladoras.

De forma combinada, todos esses marcos legais e institucionais contribuíram para a construção de um ambiente regulatório mais estável, transparente e alinhado às melhores práticas internacionais de governança regulatória (OCDE, 2021). Essa trajetória foi reconhecida por organismos multilaterais, como a OCDE (2022), que destacaram os avanços do Brasil em institucionalizar instrumentos de governança regulatória, elemento essencial para a atração de investimentos privados e a melhoria da qualidade dos serviços públicos.

3 Avanços regulatórios por subsetor de transporte

O ciclo de concessões aeroportuárias iniciado em 2011 (com a concessão do aeroporto de São Gonçalo do Amarante – Natal – RN) marcou um período de ampliação de investimentos no setor. À época, as concessões foram amplamente consideradas um passo importante para a oferta satisfatória de voos para a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, sendo um marco para o setor aeroportuário e seu avanço desde então.

Foram várias rodadas de concessões, realizadas em todos os diferentes governos, com características próprias e uma série de aprimoramentos durante esses 14 anos. A implementação de contratos mais detalhados estabeleceu padrões obrigatórios de pontualidade, conforto, segurança e eficiência operacional, como a previsão de cláusulas de reequilíbrio econômico-financeiro, que buscaram reduzir riscos de investimento e garantiram maior estabilidade frente a variações de demanda ou choques econômicos (OCDE, 2022). Estudos de percepção do usuário, como os divulgados pela Infraero e ANAC, apontam melhorias nos índices de

satisfação, especialmente em aeroportos concedidos em blocos de alta demanda, como São Paulo/Guarulhos e Brasília.

Além disso, a regulação aeroportuária incorporou práticas de *benchmarking* internacional, permitindo que indicadores de desempenho fossem comparados entre aeroportos, estimulando a competição e a eficiência na prestação do serviço público delegado (Silva, 2010). No entanto, persistem desafios relevantes, como a necessidade de revisão periódica dos contratos para manter tarifas competitivas sem comprometer a sustentabilidade financeira dos operadores. Além disso, com eventos como a pandemia da Covid-19 e, no Brasil, as chuvas intensas e inundações sofridas no Rio Grande do Sul em 2024 (que manteve o aeroporto de Porto Alegre fechado por cinco meses), fatos completamente novos e inesperados têm ensejado rodadas de renegociações e de alterações nas obrigações contratuais originais.

No setor portuário, a Lei nº 12.815/2013, a chamada Nova Lei dos Portos, trouxe avanços importantes ao redefinir parâmetros de concessões e arrendamentos, com foco em eficiência operacional e maior previsibilidade jurídica (Brasil, 2013). Um destaque da lei foi a expansão dos Terminais de Uso Privado (TUPs), que atualmente movimentam cerca de dois terços das cargas portuárias do Brasil, segundo o último Estatístico Aquaviário da ANTAQ (2023). Essa mudança estimulou investimentos privados, maior competitividade e modernização tecnológica, fortalecendo o papel dos terminais privados como infraestrutura estratégica para o comércio exterior.

Contudo, a Lei dos Portos também apresenta limitações. Entre elas, destacam-se as assimetrias regulatórias entre os portos privados e os portos públicos, elevada concentração de mercado em algumas regiões, e gargalos de acesso decorrentes da necessidade de integração com a malha logística terrestre. Estudos do IPEA como em Rocha (2020, p. 32) apontam que a governança portuária pública ainda carece de mecanismos mais robustos de monitoramento de desempenho.

Outro marco relevante no setor portuário foi a desestatização da Companhia Docas do Espírito Santo (Codesa), concluída em 2021, por meio de concessão à iniciativa privada. Essa operação seguiu os preceitos da Lei nº 12.815/2013, com os objetivos de ampliar investimentos em infraestrutura, modernizar terminais e aumentar a eficiência operacional. A desestatização da Codesa permitiu maior flexibilidade gerencial, agilização de processos operacionais e maior capacidade de expansão de terminais, alinhando-se às tendências de modernização do setor portuário brasileiro, sendo algo inédito na história do país até então. Contudo, estudiosos apontam que o processo também evidencia desafios relacionados à regulação da concorrência e à fiscalização das tarifas, ressaltando a necessidade de acompanhamento constante por parte da ANTAQ (ANTAQ, 2023).

Ainda no setor portuário, o programa BR do Mar (Lei nº 14.301/2022) buscou complementar os avanços da Lei dos Portos, estimulando o uso da cabotagem e ampliando a concorrência no transporte marítimo nacional (Brasil, 2022). Com incentivos fiscais e flexibilização de normas para armadores brasileiros, o programa visa reduzir custos logísticos, fortalecer o transporte marítimo doméstico e integrar melhor portos e transporte terrestre.

No setor rodoviário, as concessões rodoviárias de terceira geração introduziram instrumentos como seguro-garantia, matriz de risco detalhada e maior previsibilidade contratual, reduzindo incertezas para investidores e permitindo investimentos de longo prazo em manutenção e duplicação de trechos estratégicos (ANTT, 2022). Mais recentemente, a

regulamentação e recente implementação do sistema *free-flow*⁶ em algumas rodovias trouxe o potencial de ganhos significativos de fluidez, redução de custos operacionais e diminuição de acidentes, embora ainda enfrente desafios técnicos e jurídicos, como integração de cobrança e fiscalização, adaptação de contratos antigos e aceitação do usuário (CNT, 2020).

Apesar dos avanços, limitações persistem, como desigualdade na qualidade dos contratos antigos, insuficiente manutenção de trechos não concessionados sob administração pública direta e necessidade de maior integração entre infraestrutura rodoviária e demais modais logísticos. As deficiências observadas em parte da malha rodoviária brasileira resultam em custos elevados para o transporte. A Pesquisa CNT de Rodovias 2023 estimou que a deterioração do pavimento aumenta em 32,7% os custos operacionais do transporte rodoviário de cargas, impactando diretamente o preço do frete e, consequentemente, o custo final para o consumidor (CNT, 2023). Além disso, as deficiências na infraestrutura rodoviária contribuem para o aumento do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes, agravando os desafios ambientais e econômicos do país. A mesma pesquisa aponta também que rodovias sob gestão privada são avaliadas como ótimas ou boas com o dobro da frequência relativa das rodovias sob gestão pública.

O setor ferroviário brasileiro passou por relevante mudança institucional com a Lei nº 14.273/2021, que instituiu o novo marco regulatório das ferrovias (Brasil, 2021b). A principal inovação foi o modelo de autorizações, no qual operadores privados podem solicitar outorgas para construção e operação sem licitação tradicional, inspirado em experiências internacionais (OCDE, 2022). Esse mecanismo simplifica e agiliza a criação de novos projetos ferroviários, com potencial de aumentar a atratividade do modal, permitindo que novos agentes entrem no mercado, estimulando investimentos e a integração de cargas.

Entre os pontos positivos, destacam-se: redução da burocracia para obtenção de autorizações; estímulo à competição e inovação; maior previsibilidade jurídica para investidores. No entanto, o modelo também apresenta vulnerabilidades e riscos, que contribuem para a lentidão na implementação do novo modelo de autorizações. Estudiosos apontam preocupações quanto à regulação da capacidade ferroviária, possibilidade de monopolização de trechos estratégicos, e desafios na coordenação entre transporte de cargas e passageiros. Além disso, a ausência de mecanismos robustos de monitoramento e penalidades pode gerar distorções no serviço e atrasos na entrega de projetos.

No conjunto dos modais, observa-se que os avanços regulatórios criaram melhorias significativas na eficiência e na atratividade de investimentos, fortalecendo a infraestrutura de transportes e promovendo maior competitividade e qualidade na prestação dos serviços. Ao mesmo tempo, persistem desafios estruturais, como a desigualdade de qualidade entre rodovias públicas e privadas, a concentração de cargas em alguns terminais portuários, gargalos logísticos e limitações no monitoramento e regulação do novo marco ferroviário. Apesar dessas restrições, os progressos institucionais evidenciam um movimento contínuo de modernização e integração multimodal, que contribui para reduzir custos, aumentar a segurança, melhorar a experiência do usuário e atrair novos investimentos privados para o setor de transportes brasileiro.

⁶ Cobrança de pedágio eletrônico, sem necessidade de parada pelo motorista.

4 Revisão de literatura: independência, qualidade regulatória e investimento privado

A literatura internacional aponta a independência regulatória como um dos elementos centrais para a credibilidade das políticas regulatórias, a qualidade e estabilidade institucional e para o funcionamento eficiente de setores regulados (Gilardi, 2005). Estudos clássicos, como os de Stigler (1971) e Dal Bó (2006), mostram que a autonomia das agências reguladoras limita a captura por interesses políticos e setoriais, tende a aumentar a previsibilidade das regras e contribui para uma melhor alocação de recursos em setores regulados. Em ambientes nos quais as agências são suscetíveis a interferências políticas ou mudanças frequentes de direção, o risco regulatório aumenta, desestimulando investimentos privados de longo prazo.

No contexto brasileiro, o trabalho de Silva (2010), premiado pela Secretaria de Acompanhamento Econômico (SEAE), trouxe uma análise detalhada da independência formal (previsão de autonomia técnica, regulatória e decisória) e da independência de fato das agências reguladoras. Silva (2010) destacou que, embora a legislação brasileira assegure mandatos fixos e requisitos técnicos para os diretores, na prática a autonomia das agências é frequentemente fragilizada por contingenciamentos orçamentários, indicações políticas e interferências ministeriais. Seu estudo argumenta que a capacidade das agências de tomar decisões técnicas e implementar políticas consistentes depende não apenas de regras formais, mas também de estabilidade financeira e suporte institucional, ressaltando que a qualidade regulatória efetiva envolve tanto normas quanto práticas operacionais.

Seguindo essa linha, Pacheco (2021) aplicou metodologia semelhante, mas atualizada, para avaliar a governança e a independência regulatória no Brasil em um período recente. Ele identificou que melhorias institucionais, como regras mais claras para nomeações, planejamento estratégico obrigatório e transparência nas decisões, estão associadas a maior estabilidade regulatória, reduzindo incertezas para investidores. Pacheco também ressaltou que essas reformas são fundamentais para consolidar a regulação como política de Estado, e não apenas como resultado de iniciativas isoladas de governos específicos.

Em paralelo, Rocha (2020), em estudo pelo IPEA, analisou a relação entre qualidade regulatória e fluxos de investimento privado em países emergentes, incluindo o Brasil. Rocha mostrou que ambientes institucionais previsíveis e transparentes reduzem o risco regulatório percebido, atraindo capital privado e aumentando a eficiência econômica. Seus resultados indicam que a consolidação de boas práticas regulatórias no Brasil, como análise de impacto regulatório, mecanismos de reequilíbrio econômico-financeiro e maior *accountability* das agências contribui diretamente para investimentos em infraestrutura, melhoria da prestação de serviços e estabilidade macroeconômica.

Ao mesmo tempo, é necessário reconhecer as limitações da regulação brasileira. Problemas como captura regulatória, falhas de governo e assimetrias de informação ainda podem comprometer a eficácia das agências. Lacunas no monitoramento de contratos e na capacidade de fiscalização podem gerar distorções no serviço público delegado, uma vez que contingenciamentos orçamentários ainda se fazem presentes, com efeitos relevantes, na realidade das agências reguladoras de infraestrutura de transportes brasileiras⁷. O

⁷ O Decreto 12.447, publicado em 30/05/2025, contingenciou cerca de 25% da dotação orçamentária original das 11 agências reguladoras federais.

contingenciamento orçamentário das agências reduz a capacidade de fiscalização e análise técnica, comprometendo a efetividade regulatória. Na ausência de critérios objetivos, públicos e *ex ante* de governança orçamentária para a distribuição de limites de empenho e bloqueios bimestrais por órgão da Administração Pública, a autonomia técnica e regulatória das agências reguladoras resta fragilizada.

Apesar disso, os avanços institucionais sugerem que políticas consistentes de fortalecimento regulatório têm o potencial de aumentar a confiança de investidores, melhorar o desempenho econômico e consolidar o papel do setor público como garantidor da estabilidade institucional e do desenvolvimento sustentável.

5 Avanços recentes (2023-2025)

No governo Lula 3 (2023-2025), houve intensificação da agenda de investimentos em concessões e PPPs, com destaque para projetos ferroviários e de rodovias federais. A ANAC atualizou sua agenda regulatória, priorizando a digitalização e a sustentabilidade. A ANTT, por sua vez, vem implementando novos modelos de contrato rodoviário com cláusulas mais sofisticadas de compartilhamento de riscos. Além disso, o PPI avançou em leilões portuários e na expansão da cabotagem, fortalecendo a integração territorial. Esses movimentos são compatíveis com a continuidade da agenda regulatória observada nas últimas décadas e sugerem tratamento da regulação como política de Estado.

Segundo a ABDIB (2024), até recentemente, o maior volume de investimentos em infraestrutura registrado em série histórica havia sido em 2014, quando R\$ 239,7 bilhões em recursos, a preços constantes, foram direcionados à manutenção e à tentativa de ampliação do estoque de capital. Depois de uma queda prolongada, a retomada se consolidou a partir de 2022, quando o setor recebeu R\$ 188,2 bilhões de investimentos totais, alta de 9,9% em relação ao ano anterior. Em 2023, esse volume saltou para R\$ 224,9 bilhões (+19,5%) e, em 2024, atingiu R\$ 266,8 bilhões, equivalentes a 2,27% do PIB, sendo R\$ 78,7 bilhões de origem pública e R\$ 188,1 bilhões de origem privada.

Para 2025, a projeção é de R\$ 277,9 bilhões, o que representaria um avanço, em termos nominais, de cerca de 4% (CNI, 2025). Esse volume ainda é insuficiente para financiar os esforços necessários para manutenção e aumento do estoque de infraestrutura no país. Mas a trajetória de investimentos indica que as reformas regulatórias recentes têm avançado em tornar o contexto brasileiro mais atrativo ao capital privado e externo, devendo ser continuadas até que, pelo menos, alcancemos fluxos maiores de investimentos.

No que se refere aos avanços em infraestrutura no atual governo, é imperativo citar o Novo PAC, terceira edição do Programa de Aceleração do Crescimento. Relançado em 2023, o plano resgatou a lógica de coordenação estatal para obras e investimentos estratégicos com uma abordagem adaptada aos desafios contemporâneos, como a retomada de obras paralisadas, o fomento da participação do setor privado e a incorporação de compromissos com a sustentabilidade nos projetos do setor.

Um eixo importante do programa, o de Transporte Eficiente e Sustentável, se destaca pelo volume e pela execução relativamente acelerada: dos R\$ 328,8 bilhões previstos, mais de 70% já haviam sido aplicados até abril de 2025. É possível observar os resultados dos investimentos sobretudo no setor rodoviário, onde a proporção de rodovias federais em boas

condições saltou de 52% para 75,9% entre 2022 e abril de 2025. O ciclo de 11 novos leilões de concessões, o maior já registrado, também revela uma guinada em direção ao protagonismo privado na expansão da malha, numa lógica que tenta conciliar investimento estatal com atratividade de mercado para reposicionar o Brasil frente às suas carências históricas (Ministério da Casa Civil, 2023).

No setor portuário, a agenda de concessões sinaliza uma mudança de direção importante. Entre 2023 e 2026, estão previstos R\$ 30 bilhões em investimentos voltados à modernização dos portos, por meio de mais de 60 leilões conduzidos pelo Ministério de Portos e Aeroportos. Essa previsão é expressivamente superior ao número de leilões executados nos 10 anos anteriores, quando, entre 2013 (ano de criação da nova Lei dos Portos) e 2022, foram realizados 41 leilões. A diferença sugere a perspectiva de aumento do ritmo de investimentos, com projeção de ganhos de eficiência para o comércio exterior, redução de custos logísticos e maior integração regional (Ministério de Portos e Aeroportos, 2025a).

O setor hidroviário também se destaca quanto à trajetória de investimentos públicos: o governo direcionou R\$ 767 milhões nos dois primeiros anos, representando um aumento de cerca de 45% em relação ao governo anterior. Para coordenar essas ações, foi criada a Secretaria Nacional de Hidrovias e Navegação, responsável pela implementação de políticas públicas estratégicas. Entre as iniciativas destacam-se o derrocamento do Pedral do Lourenço, dragagens em hidrovias do Tapajós e São Francisco, e a manutenção das hidrovias do Madeira, Parnaíba e Paraguai. Esses investimentos visam ampliar a navegabilidade, reduzir custos logísticos, integrar o transporte hidroviário aos demais modais, fortalecer a competitividade do setor e promover a logística sustentável no país (Governo Federal, 2025).

No setor aéreo, os avanços são evidentes quanto ao fluxo de demanda. Em 2022, o Brasil transportou cerca de 98 milhões de passageiros/ano. Esse número subiu para 112 milhões em 2023 e chegou a mais de 118 milhões de passageiros transportados em 2024, quando se registrou o segundo melhor desempenho da história de acordo com os dados do Relatório de Demanda e Oferta da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2025). Esse crescimento expressivo reflete tanto a retomada da demanda reprimida quanto os investimentos em programas como o AmpliAR e o Investe + Aeroportos. O primeiro, voltado à aviação regional, destina investimentos privados de mais de R\$ 5 bilhões à modernização e ampliação da infraestrutura de aeroportos em regiões menos atendidas (Ministério de Portos e Aeroportos, 2024). O segundo prevê uma revisão da Portaria Minfra nº 93/2020, com o objetivo de estimular investimentos comerciais em aeroportos concedidos (incluindo estaduais e municipais) para melhoria da estrutura física dos empreendimentos (Ministério de Portos e Aeroportos, 2025b).

É válido citar a elaboração do Plano Nacional de Logística (PNL) 2050, que representa um esforço de consolidar o planejamento logístico para o setor de transportes brasileiro em bases mais sólidas e apresenta avanços em relação aos planos anteriores. Enquanto o PNL 2025 (elaborado em 2018) teve foco em mapear e solucionar gargalos de curto e médio prazo e o PNL 2035 (elaborado em 2021) avançou ao ampliar o alcance com a incorporação de uma visão intermodal mais robusta e de cenários de longo prazo, o PNL 2050 tem como proposta combinar visão estratégica de longo prazo com mecanismos de governança mais sólidos.

Nesse contexto, o plano mais atual será elaborado dentro do marco do Planejamento Integrado de Transportes, instituído pelo Decreto nº 12.022/2024, com maior força normativa e de maior hierarquia, abrangendo mais instâncias. Além disso, o Ministério dos Transportes e

o Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF) firmaram uma cooperação técnica voltada à realização do estudo “Inclusão das Unidades Federativas no âmbito do PNL 2050” em 2024, com aporte de US\$ 300 mil por parte do Banco (CAF, 2024). A iniciativa busca a construção de uma base técnica sólida que capture a realidade e prioridades logísticas regionais.

O atual governo ampliou a divulgação pública de informações relativas à agenda regulatória e aos projetos em andamento por meio dos canais institucionais dos órgãos responsáveis, reforçando práticas de transparência e oferecendo aos *players* do setor uma agenda de ações para acompanhamento e maior participação. Os perfis em redes sociais do Ministério dos Transportes, Ministério de Portos e Aeroportos, Infra S/A, bem como dos próprios ministros e de seus secretários e assessores têm prestado informações relevantes e atuais aos interessados no setor de infraestrutura. Isso gera previsibilidade, mostra a linha de raciocínio do setor público em relação ao setor, estabelece uma cadeia de prioridades de projetos que serão contemplados e, sobretudo, traz um cronograma de ação a ser seguido e cobrado depois pela população, usuários, concessionários e demais agentes afetados pela medida.

Ainda que o governo tenha se mostrado mais ativo no setor de infraestrutura, as limitações fiscais do Estado e a necessidade de financiamento de projetos de longa maturação do setor de infraestrutura explicitam a importância de um agente capaz de apoiar o crédito de longo prazo. É nesse ponto que o BNDES assume papel estratégico na disponibilidade de crédito para cumprimento da agenda de desenvolvimento, articulando os setores público e privado e garantindo a viabilidade econômico-financeira de projetos de grande impacto (BNDES, 2024).

Nesse cenário, o banco atua não apenas como financiador, mas como indutor e articulador de projetos de investimentos, dando continuidade à lógica inaugurada pelo PPI em 2016. Essas funções foram reforçadas em 2024 com a promulgação da Lei 14.937, que criou as Letras de Crédito do Desenvolvimento (LCDs), ampliando a capacidade dos bancos de desenvolvimento – os únicos capazes de emitir esses títulos – de captar recursos no mercado de capitais para destiná-los a projetos de longo prazo (Brasil, 2024b). Diferentemente das debêntures incentivadas, que são emitidas por empresas privadas para captar recursos junto a investidores, as LCDs são emitidas por instituições de fomento, o que lhes confere maior previsibilidade e alinhamento a políticas públicas no processo de desenvolvimento econômico. Além disso, ao emitir os títulos com benefícios tributários, como isenção de imposto de renda para pessoas físicas, o BNDES repassará integralmente essa isenção aos financiamentos, o que torna esse instrumento mais atrativo e incentiva a canalização da poupança privada para setores estratégicos, entre eles, o de infraestrutura (BNDES, 2024).

A expansão do financiamento via BNDES pode ser compreendida como instrumento complementar ao ambiente regulatório, pois reduz a percepção de risco por parte dos investidores privados e assegura maior previsibilidade aos projetos de longo prazo. Essa atuação complementa os instrumentos regulatórios, funcionando como mecanismo de estímulo e alavancagem dos investimentos privados em infraestrutura.

6 Conclusão

A evolução da qualidade regulatória no Brasil ao longo do século XXI indica trajetória de avanços institucionais robustos. A qualidade regulatória na infraestrutura de transportes no Brasil evoluiu de forma consistente e como política de Estado no período. Os marcos legais, a consolidação das agências e o aperfeiçoamento dos contratos de concessão criaram condições mais favoráveis ao investimento privado, reduzindo riscos e elevando a previsibilidade, com efeitos micro e macroeconômicos.

A literatura revisada mostra que maior qualidade regulatória está associada a menores riscos, maior previsibilidade e maior capacidade de atrair capital privado. Embora desafios como judicialização e fragilidade orçamentária persistam, os avanços recentes apontam para consolidação de um ciclo positivo. O setor de transportes emerge como espaço privilegiado para observar tais transformações, sendo peça-chave para o desenvolvimento econômico e social do Brasil.

Em conjunto, as iniciativas recentes, do governo Lula 3, evidenciam um esforço coordenado para modernizar a infraestrutura de transporte brasileiro, reduzir gargalos históricos, ampliar a eficiência e atratividade para investidores privados e consolidar uma política de Estado voltada à integração multimodal, à sustentabilidade e ao desenvolvimento econômico de longo prazo. Persistem, contudo, desafios estruturais: assimetrias entre arranjos e modais, judicialização, fragilidade orçamentária que limita autonomia e capacidade técnica das agências, lacunas de monitoramento e fiscalização e dificuldades de coordenação federativa e de execução de novos marcos.

Este estudo, de natureza descritivo-analítica, não estima efeitos causais. Pesquisas futuras devem priorizar avaliações *ex-post* e contrafactuais dos instrumentos regulatórios e contratuais, métricas comparáveis de independência e qualidade regulatória, análise de mecanismos de governança orçamentária e de incentivos, bem como os impactos distributivos e de eficiência da integração multimodal. Esses vetores são decisivos para que os ganhos observados se tornem duradouros e amplamente difusos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Relatório de Demanda e Oferta. 2025.

Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibNDI3ZjQxZDI0MjY2MC00NzNhLTk1ZjU0N2MwNjMzNzNiNGE1IiwidCI6ImI1NzQ4ZjZILWI0YTQ0NGlyYi1hYjJhLWVmOTUyMjM2ODM2NiJ9>. Acesso em: 23 set. 2025.

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Estatístico Aquaviário 2023: Movimentação de Cargas e Terminais de Uso Privado. Brasília: ANTAQ, 2023. Disponível em:

<https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes-da-antag/Anurio2023vfcompleta.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.

Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Relatório Anual Circunstanciado de Atividades 2022. Brasília: ANTT, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/acesso-a-informacao/transparencia-e-prestacao-de-contas/prestacao-de-contas-anuais/2022/relatorio-anual-circunstanciado-de-atividades-2022.pdf/@download/file>. Acesso em: 16 jul. 2026.

Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústrias de Base (ABDIB). Livro Azul da Infraestrutura. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.abdib.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Livro-Azul-da-Infraestrutura-2024-ABDIB-pg-a-pg-3.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.



BNDES. Revista do BNDES, v. 30, n. 60, dez. 2024. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/27747/1/PRPer_76157_Rev_do%20BNDES%2c%20v.%2030%2c%20n.%2060%2c%20dez%202024.pdf. Acesso em: 16 jul. 2026.

Brasil. Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 fev. 1995.

Brasil. Lei nº 10.871, de 20 de maio de 2004. Dispõe sobre a criação de carreiras e organização das agências reguladoras. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 maio 2004a.

Brasil. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 dez. 2004b.

Brasil. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013. Dispõe sobre a organização e exploração dos portos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jun. 2013.

Brasil. Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016. Cria o Programa de Parcerias de Investimentos – PPI. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 set. 2016.

Brasil. Lei nº 13.448, de 5 de junho de 2017. Dispõe sobre diretrizes gerais para prorrogação e relicitação de contratos de parceria. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jun. 2017.

Brasil. Lei nº 13.848, de 25 de junho de 2019. Dispõe sobre a gestão, organização e controle social das agências reguladoras. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 jun. 2019.

Brasil. Decreto nº 10.411, de 30 de junho de 2020. Regulamenta a análise de impacto regulatório (AIR). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 jul. 2020.

Brasil. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Institui a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 abr. 2021a.

Brasil. Lei nº 14.273, de 28 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a outorga e operação de ferrovias no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 dez. 2021b.

Brasil. Lei nº 14.301, de 29 de setembro de 2022. Institui o Programa BR do Mar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 set. 2022.

Brasil. Decreto nº 11.738, de 18 de outubro de 2023. Dispõe sobre o Programa de Fortalecimento da Capacidade Institucional para Gestão em Regulação – PRO-REG. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 out. 2023.

Brasil. Decreto nº 12.150, de 20 de agosto de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Melhoria Regulatória. Diário Oficial da União, 21 ago. 2024a.

Brasil. Lei nº 14.937, de 26 de julho de 2024. Institui a Letra de Crédito do Desenvolvimento. Brasília, DF, 2024b.

CAF – Banco de Desenvolvimento da América Latina. Com apoio do CAF, Brasil avança em novo Plano Nacional de Logística. 2024. Disponível em: <https://www.caf.com/pt/presente/noticias/com-apoio-do-caf-brasil-avanca-na-construcao-do-novo-plano-nacional-de-logistica/>. Acesso em: 24 set. 2025.

Confederação Nacional da Indústria (CNI). Pilares da Infraestrutura Brasileira: uma agenda de modernização. Brasília: CNI, 2025. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/portaldaindustria/noticias/media/filer_public/23/0f/230f3184-

[c962-4aa5-8d61-f34972c523cc/estudo - pilares da infraestrutura brasileira.pdf](https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/bf8665da-3e39-45cf-9fbd-2dbbafc9ddd4.pdf). Acesso em: 16 jul. 2026.

Confederação Nacional do Transporte (CNT). Transporte em Movimento. Novas tecnologias de pagamento de pedágio. Brasília: CNT, 2020. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/bf8665da-3e39-45cf-9fbd-2dbbafc9ddd4.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.

Confederação Nacional do Transporte (CNT). Pesquisa CNT de Rodovias 2023: Estado Geral das Rodovias Brasileiras. Brasília: CNT, 2023. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/11/pesquisa-cnt-rodovia-2023.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.

DAL BÓ, Ernesto. Regulatory Capture: A Review. *Oxford Review of Economic Policy*, v. 22, n. 2, p. 203–225, 2006.

FREITAS, Rafael Vêras de; TUROLLA, Frederico A.; ALTOÉ JUNIOR, José Egidio. Direito e economia da infraestrutura: entre a incompletude, o consenso e a responsividade. Belo Horizonte: Fórum, 2025. 400 p.

GILARDI, Fabrizio. The Institutional Foundations of Regulatory Capitalism: The Diffusion of Independent Regulatory Agencies in Western Europe. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, v. 598, p. 84–101, 2005.

Governo Federal. Com investimento recorde, infraestrutura brasileira evolui em dois anos e garante benefícios à população, afirma Silvio Costa Filho. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/04/Com-investimento-recorde-infraestrutura-brasileira-evolui-em-dois-anos-e-garante-beneficios-a-populacao-afirma-Silvio-Costa-Filho>. Acesso em: 21 set. 2025.

JUSTEN FILHO, Marçal. Comentários à Lei de Licitações e Contratações Administrativas: Lei 14.133/2021. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2021.

LEVY, Brian; SPILLER, Pablo Tomas. Regulations, Institutions and Commitment: Comparative Studies of Telecommunications. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

Ministério da Casa Civil. Transporte eficiente e sustentável. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/transporte-eficiente-e-sustentavel>. Acesso em: 23 set. 2025.

Ministério de Portos e Aeroportos. AmpliAR. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/ampliar>. Acesso em: 23 set. 2025.

Ministério de Portos e Aeroportos. Concessões no setor de portos somam R\$ 30 bilhões em investimentos. Brasília, 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/08/concessoes-no-setor-de-portos-somam-r-30-bilhoes-em-investimentos>. Acesso em: 23 set. 2025.

Ministério de Portos e Aeroportos. MPor lança programa para incentivar empreendimentos comerciais nos aeroportos. Brasília, 15 set. 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/09/mpor-lanca-programa-para-incentivar-empreendimentos-comerciais-nos-aeroportos>. Acesso em: 23 set. 2025.

OECD. Recommendation of the Council on Regulatory Policy and Governance. Paris: OECD Publishing, 2012. Disponível em: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2012/11/recommendation-of-the-](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2012/11/recommendation-of-the)

[council-on-regulatory-policy-and-governance_g1g3fce5/9789264209022-en.pdf](#). Acesso em: 16 jul. 2026.

OECD. OECD Regulatory Policy Outlook 2021. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/10/oecd-regulatory-policy-outlook-2021_c5274577/38b0fdb1-en.pdf. Acesso em: 16 jul. 2026.

OECD. Regulatory Reform in Brazil, OECD Reviews of Regulatory Reform, OECD Publishing, Paris, 2022. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/06/regulatory-reform-in-brazil_da75f3f8/d81c15d7-en.pdf. Acesso em: 16 jul. 2026.

PACHECO, Matheus Biângulo. Autonomia das Agências Reguladoras: uma avaliação para o Brasil entre 1997-2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/42404/1/2021_MatheusBianguloPacheco.pdf. Acesso em: 16 jul. 2026.

PIRES, José Cláudio; PICCININI, Maurício. A regulação dos setores de infra-estrutura no Brasil. In: GIAMBIAGI, Fabio; MOREIRA, Maurício Mesquita (org.). A economia brasileira nos anos 90. 1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 1999. p. 217–260.

ROCHA, Katia. Investimento privado em infraestrutura nas economias emergentes: a importância do ambiente regulatório na atração de investimentos. Texto para Discussão, n. 2584. Brasília: Ipea, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/cf9508c6-9281-4761-9fa1-02ba51144aa1/content>. Acesso em: 16 jul. 2026.

SILVA, Mariana Baptista da. O desenho institucional em prática: uma Análise da Independência das Agências Reguladoras Brasileiras (1997-2009). Brasília: Prêmio Secretaria de Acompanhamento Econômico (SEAE), 2010. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/5317/1/2-lugar-tema-2-profissionais.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.

STIGLER, George J. The Theory of Economic Regulation. The Bell Journal of Economics and Management Science, n. 1, p. 3–21, 1971.

World Bank. Connecting to Compete 2023: Trade Logistics in the Global Economy: The Logistics Performance Index and Its Indicators. Washington, DC: World Bank, 2023. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099042123145531599/pdf/P17146804a6a570ac0a4f80895e320dda1e.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2026.





A Crise Financeira de 2008 e as Dinâmicas de Crescimento: Perspectivas Comparativas

The 2008 Financial Crisis and Growth Dynamics: Comparative Perspectives

Bernardo Avellar Netto Santos Paranhos⁸

Este artigo investiga a relação da crise financeira de 2008 com a trajetória de crescimento do PIB *per capita* para uma amostra de países, com ênfase na comparação entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento. A partir de um modelo econométrico, analisa-se essa relação por meio da significância estatística e do sinal do coeficiente que representa uma mudança na tendência de crescimento no período pós-crise. Os resultados indicam que a crise teve uma relação estatisticamente significativa, e negativa, com as tendências de crescimento de economias desenvolvidas, enquanto para as economias em desenvolvimento não apresentou uma relação estatisticamente significativa. Os achados corroboram a ideia de que economias mais financeirizadas e integradas ao mercado internacional estão mais vulneráveis a choques externos, ao passo que países menos expostos aos mercados financeiros globais demonstraram maior resistência. O caso brasileiro merece um olhar mais cuidadoso: apesar de ser uma economia em desenvolvimento, o coeficiente para o Brasil foi significativo, o que difere do encontrado para outros países latino-americanos. O estudo abre espaço para o surgimento de pesquisas futuras acerca dessa relação e de suas consequências.

Palavras-chave: crise de 2008; crescimento econômico; economias desenvolvidas e em desenvolvimento.

This article investigates the relationship between the 2008 financial crisis and the growth trajectory of per capita GDP for a sample of countries, with an emphasis on the comparison between developed and developing economies. Using an econometric model, this relationship is analyzed through the statistical significance and the sign of the coefficient that captures changes in the growth trend in the post-crisis period. The results indicate that the crisis had a statistically significant and negative relationship with the growth trends of developed economies, whereas for developing economies no statistically significant relationship was found. The findings support the notion that more financialized economies, integrated into international markets, are more vulnerable to external shocks, while countries less exposed to global financial markets displayed greater resilience. The Brazilian case deserves closer examination: despite being a developing economy, the coefficient for Brazil proved significant, which contrasts with the results obtained for other Latin American countries. This study opens avenues for future research on this relationship and its consequences.

Keywords: 2008 crisis; economic growth; developed and developing economies.

JEL Classification: G01; O47; E32

⁸ Graduando em Ciências Econômicas (UnB); bernardoaparanhos@gmail.com.

1 Introdução

1.1. Crises e a Ciência Econômica

O estudo acerca das crises no âmbito da Ciência Econômica permeia o debate desde os pensadores clássicos até os dias atuais. David Ricardo (1974), em sua obra *Princípios de Economia Política e Tributação*, afirmava que não pode haver excesso de produção, pois a produção cria sua própria demanda, ou seja, a Lei de Say é válida. Ricardo não via o sistema capitalista como propenso a crises generalizadas. A ideia da tendência ao equilíbrio e da ausência de crises no sistema capitalista mostrou-se influente nas escolas neoclássicas ortodoxas até os dias modernos. Como coloca Mankiw (1990), novos clássicos e novos keynesianos concordam que os mercados se autorregulam a longo prazo, apenas discordando quanto aos movimentos de ajuste de curto prazo.

Por outro lado, escolas ditas mais heterodoxas, como as decorrentes do pensamento de Marx ou de Keynes, mostram o papel das crises e a instabilidade do sistema capitalista. Segundo Marx (2013), em *O Capital: crítica da economia política*, as crises econômicas são intrínsecas ao sistema, resultantes das contradições do modo de produção capitalista. Já Keynes (1983) atribuiu à insuficiência da demanda agregada as causas para as crises. Ao contrário do pensamento ortodoxo vigente, ele acreditava que o mercado não se ajustaria automaticamente, mas sim que o Estado deveria intervir para restaurar o nível de renda e de emprego.

A partir do final da década de 1970, e de forma mais intensa durante os anos 1980, o mundo passou por significativas transformações econômicas, políticas e sociais. Esse período foi marcado por instabilidades e choques econômicos, pela adoção de políticas de orientação neoliberal em diversos países e pela crescente internacionalização do capital, impulsionados pelos avanços tecnológicos. Nos anos 1990, tais mudanças consolidaram-se sob a denominação de *globalização*⁹, caracterizada pela homogeneização dos padrões de consumo – isto é, o processo pelo qual as diferentes culturas locais perdem suas particularidades de consumo para adotar um estilo de vida padronizado pelas grandes potências econômicas – pela ampliação das privatizações, pela desregulamentação dos mercados e pela financeirização¹⁰ das economias.

Nesse contexto, o movimento dos ciclos financeiros e a ocorrência de crises financeiras ganharam destaque frente aos já observados ciclos e crises econômicos. Como observado em períodos de recessão de ciclos econômicos, causados por choques de demanda e oferta, há queda do emprego e do bem-estar. Ao falar de ciclos financeiros, por outro lado, seus movimentos de baixa não ocorrem no lado real da economia, mas se referem a flutuações em variáveis financeiras, como crédito, alavancagem, preços de ações e imóveis (Carlin; Soskice, 2015).

⁹ Entende-se globalização neste trabalho no sentido de Martins (2011), como um processo de integração econômica, social, cultural e política ao redor do planeta, impulsionado pelos avanços tecnológicos e de comunicação e caracterizado pelo livre fluxo de capitais, mercadorias e informações, o que gera maior interdependência entre os países e atenua as fronteiras dos Estados.

¹⁰ No âmbito deste trabalho, financeirização será utilizado no mesmo sentido dado por Martins (2011), isto é, como o regime de acumulação mundial em que o capital financeiro assume o predomínio sobre o setor produtivo.

Ben Bernanke, ex-presidente do *Federal Reserve* entre 2006 e 2014, em seu discurso intitulado *The Financial Accelerator and the Credit Channel* (2007)¹¹, definiu crises financeiras como perturbações extremas no funcionamento normal dos mercados financeiros, que frequentemente têm um impacto significativo sobre a economia real. Compreender como esses impactos se manifestam nas diferentes economias constitui uma tarefa fundamental para os estudos econômicos atuais.

Assim, o objetivo deste artigo é analisar de que forma a crise de 2008 se associou estatisticamente com a trajetória de crescimento dos países, comparando as diferenças observadas entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento. Para tal, será testada a hipótese de que os efeitos da crise foram mais intensos nas economias desenvolvidas quando comparadas às economias em desenvolvimento. Para comprovar essa hipótese, será feito um teste econométrico. O modelo a ser utilizado será rodado para uma amostra de países, a fim de analisar a significância estatística do impacto da crise de 2008 em suas trajetórias de crescimento. Este trabalho, no entanto, não tem o propósito de estabelecer uma relação de causalidade entre a crise e as alterações nas tendências de crescimento dos países, limitando-se a evidenciar a associação estatística entre os fatos.

Primeiro, será realizada uma breve apresentação sobre a crise. Em seguida, será apresentada a metodologia, bem como o modelo econométrico e os dados a serem utilizados. Na sequência, será feita uma análise dos resultados obtidos na regressão. Por fim, a título de conclusão, a partir dos resultados obtidos, será possível testar a hipótese aqui levantada, aceitando-a ou recusando-a, bem como entrever novos problemas acerca do tema.

1.2. A Crise Financeira de 2008

A crise financeira de 2008, conhecida como a crise do *subprime*, foi um colapso econômico global causado, em grande parte, por uma bolha no mercado imobiliário dos Estados Unidos. Essa bolha formou-se a partir de uma combinação de fatores, incluindo políticas públicas que incentivaram a expansão do crédito, práticas financeiras arriscadas por parte dos bancos e um efeito de manada gerado por uma expectativa generalizada de que os preços dos imóveis continuariam a subir indefinidamente. Como destacam Quinn e Turner (2020), a bolha do *subprime* teve consequências econômicas particularmente severas, porque envolveu um ativo com ampla participação popular e profunda conexão com o sistema bancário.

Nos EUA, durante os anos 2000, o crédito foi amplamente facilitado por baixas taxas de juros e por uma forte desregulamentação do setor financeiro. Isso permitiu que instituições financeiras concedessem hipotecas de alto risco a agentes com pouca ou nenhuma capacidade de pagamento. Essas hipotecas foram agrupadas em títulos financeiros complexos, vendidos a investidores em todo o mundo. Esses instrumentos foram mal avaliados pelas agências de classificação de risco, que atribuíram notas elevadas a ativos extremamente frágeis. O sistema bancário ficou, assim, altamente exposto a ativos de baixa qualidade, mas que se apresentavam como seguros (Quinn; Turner, 2020).

À medida que os preços dos imóveis começaram a cair por volta de 2006, muitos devedores inadimplentes foram incapazes de refinanciar ou vender suas casas. Isso provocou

¹¹ Discurso proferido em 2007 durante a Conferência sobre o Canal de Crédito da Política Monetária no Século XXI, realizada pelo *Federal Reserve Bank of Atlanta*.

uma onda de execuções das hipotecas e, conseqüentemente, uma queda abrupta no valor dos ativos ligados ao setor imobiliário. O resultado foi uma crise generalizada nos mercados financeiros. Bancos e outras instituições financeiras sofreram perdas massivas, o que levou à falência de empresas. O evento mais marcante, tido como o estopim para a crise, foi a falência do banco *Lehman Brothers*, em setembro de 2008.

A crise rapidamente se espalhou para outras economias, provocando uma recessão global. A contração do crédito, o colapso de grandes instituições financeiras e a forte retração nos investimentos e no consumo resultaram no aumento do desemprego e da dívida pública. Em 2009, a economia norte-americana registrou uma queda de 3,75% na taxa de crescimento do PIB *per capita*. A recuperação iniciou-se em 2010, mas com crescimento de apenas 1,92%, abaixo dos níveis observados antes da crise. Entre algumas economias europeias, a retração em 2009 foi mais acentuada: 8,02% no Reino Unido; 6,54% na Alemanha; e 3,68% na França¹².

2 Metodologia e dados

A metodologia utilizada baseia-se no artigo de Jones (1995), que apresenta uma análise crítica acerca dos modelos de crescimento endógeno utilizando testes de séries temporais. Jones argumenta que a evidência empírica para as taxas de crescimento dos EUA não mostra grandes mudanças persistentes, o que negaria a validade desses modelos. O autor demonstra que as taxas de crescimento do PIB *per capita dos EUA* de 1880 a 1987 se comportam como uma série relativamente estável e pouco afetada por eventos individuais – um processo de média constante e pouca persistência. Isso significa que, em vez de grandes aumentos permanentes, como previsto pelos modelos endógenos, a tendência de crescimento é relativamente estável. A análise mostra que uma tendência linear simples se ajusta de forma satisfatória ao logaritmo natural do PIB *per capita*.

O modelo econométrico a ser utilizado neste artigo é:

$$\ln(\text{PIBpc})_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{tendência}_t + \beta_2 \cdot \text{dummy2008}_t + \beta_3 \cdot (\text{tendência}_t \times \text{dummy2008}_t) + \varepsilon_{it}$$

$\ln(\text{PIBpc})_{it}$ corresponde ao logaritmo natural do PIB *per capita* para cada país, analisado entre 1960 e 2019¹³; β_0 é o intercepto; tendência_t é uma variável contínua que representa os anos e captura a tendência de crescimento econômico de cada país para o período em questão; dummy2008_t é uma variável *dummy* que recebe 0 para os anos antes de 2008 e 1 para 2008 em diante; $\text{tendência}_t \times \text{dummy2008}_t$ é um termo de interação entre a variável de tendência e a *dummy* que permite identificar mudanças na taxa de crescimento do PIB *per capita* após 2008; ε_{it} é o termo de erro.

O foco deste artigo será na interpretação do coeficiente do termo de interação: β_3 . Ele representa o efeito da interação entre a tendência temporal e o período pós-2008 sobre o crescimento do logaritmo natural do PIB *per capita*, ou seja, captura a mudança na inclinação da tendência de crescimento do PIB *per capita* a partir de 2008, indicando se sua taxa de crescimento sofreu uma alteração estatisticamente significativa após 2008.

¹² Fonte: *Penn World Table* (PWT) 10.01.

¹³ A escolha por este corte temporal se dá porque os dados disponíveis para a maioria dos países começam em 1960. A escolha de terminar em 2019 se dá a fim de evitar possíveis efeitos da pandemia de COVID-19 em 2020.

A base de dados a ser utilizada é a *Penn World Table* 10.01¹⁴, que contém, para o período em questão, informações de PIB *per capita* para uma ampla quantidade de países e torna possível sua comparação ao expressar as variáveis na paridade do poder de compra. O modelo será rodado com auxílio do software *RStudio*.

3 Análise dos Resultados

A análise será feita para uma amostra de 22 países. São eles: Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Colômbia, Alemanha, Equador, Espanha, França, Reino Unido, Grécia, Indonésia, Itália, Japão, México, Portugal, Paraguai e Estados Unidos. O objetivo dessa análise é examinar a significância e o sinal do coeficiente β_3 . Caso se mostre estatisticamente significativo, evidenciará uma relação entre a crise financeira de 2008 e a tendência de crescimento do logaritmo natural do PIB *per capita* do país. Por outro lado, se o coeficiente não for significativo, essa relação não se sustentará. O sinal de β_3 indica a direção dessa relação: um valor positivo sugere uma aceleração da trajetória de crescimento, enquanto um valor negativo indica uma queda da tendência de crescimento da economia após 2008.

A hipótese a ser testada é que a crise de 2008 está associada a alterações significativas na trajetória de crescimento do PIB *per capita* em economias desenvolvidas, ao passo que, para economias em desenvolvimento, tais alterações seriam estatisticamente desprezíveis. Espera-se, portanto, observar um coeficiente β_3 estatisticamente significativo e negativo para os países desenvolvidos, enquanto para os países em desenvolvimento esse coeficiente não deve apresentar significância estatística.

O resultado será dito estatisticamente significativo quando a evidência contra a hipótese nula – ou seja, $\beta_3 = 0$ – é forte o suficiente para rejeitá-la com base em um nível de significância estabelecido. Isto é, se o p-valor for menor ou igual a 0,05, o resultado é considerado estatisticamente significativo. Se o p-valor for maior que 0,05, o resultado não é estatisticamente significativo.

Foram rodadas 22 regressões relativas a cada país e armazenados o valor de cada β_3 e seus respectivos p-valores. Os resultados são mostrados na tabela 1 abaixo.

¹⁴ A *Penn World Table* (PWT) 10.01 é uma base de dados que fornece informações sobre níveis relativos de renda, produção, insumos e produtividade, abrangendo 183 países entre 1950 e 2019. Foi desenvolvida e é mantida por membros da Universidade da Califórnia, Davis e do Centro de Crescimento e Desenvolvimento de Groningen, da Universidade de Groningen.

Tabela 1 – Coeficientes de interação e significância

País	β_3	p-valor
Argentina	-0.0166	0.2639
Austrália	-0.0116	0.0005
Áustria	-0.0158	0.00001
Bélgica	-0.0229	0.0001
Brasil	-0.0271	0.0069
Canadá	-0.0154	0.0003
Chile	0.0030	0.8002
China	0.0044	0.6214
Colômbia	0.0033	0.7395
Alemanha	-0.0159	0.00001
Equador	0.0092	0.4699
Espanha	-0.0177	0.0338
França	-0.0146	0.0291
Reino Unido	-0.0086	0.0189
Grécia	-0.0479	0.000005
Indonésia	0.0122	0.2829
Itália	-0.0321	0.00007
Japão	-0.0403	0.0006
México	-0.0012	0.8883
Portugal	-0.0263	0.0004
Paraguai	0.0023	0.7346
Estados Unidos	-0.0073	0.0031

Fonte: Elaboração própria.

A análise da Tabela 1 evidencia diferentes relações da crise de 2008 com a trajetória de crescimento do PIB *per capita* para os diversos países. No caso de Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Canadá, Alemanha, Espanha, França, Reino Unido, Grécia, Itália, Japão, Portugal e Estados Unidos, observa-se que o p-valor para o coeficiente de interação β_3 é inferior a 0,05, ou seja, para essas 14 nações, β_3 é estatisticamente significativo, o que evidencia uma relação entre a crise de 2008 e a trajetória do PIB *per capita*. Adicionalmente, todos esses países

apresentaram um coeficiente negativo, o que sugere que a nova trajetória apresenta uma inclinação inferior, ou seja, uma queda persistente na taxa de crescimento.

Por outro lado, Argentina, Chile, China, Colômbia, Equador, Indonésia, México e Paraguai apresentaram p-valores elevados. Para esses países, o coeficiente β_3 não se mostrou significativo no modelo, o que estabelece que a crise de 2008 não representou uma mudança estatisticamente relevante na trajetória de crescimento do PIB *per capita* dessas economias.

Esses resultados corroboram a hipótese levantada e sugerem que a crise de 2008 possui uma relação estatisticamente significativa e negativa na tendência de crescimento das economias desenvolvidas. Tal resultado pode implicar uma série de explicações possíveis, como um maior nível de financeirização e integração dessas economias, o que aumenta sua exposição a crises, ou um processo de políticas de desregulamentação e de facilidade de acesso ao crédito nesses países. Em contraste, a maioria das economias em desenvolvimento analisadas não apresentou evidências estatísticas que sustentam a relação da crise com suas trajetórias de crescimento. As razões para esse resultado também são diversas, como uma menor integração ao sistema financeiro internacional, o *boom* no preço das *commodities* e o rápido crescimento chinês. As explicações acerca das relações da crise financeira de 2008 com as diferentes economias abrem caminhos para futuras pesquisas.

Um ponto de destaque é o caso do Brasil. Diferentemente de outras economias latino-americanas que não apresentaram coeficientes significativos – como Argentina, Chile, Colômbia, Equador, México e Paraguai –, o Brasil exibiu um coeficiente estatisticamente significativo e negativo. Esse achado é contrário ao que seria esperado para uma economia em desenvolvimento e sugere algum efeito específico da economia brasileira, o que aponta para a necessidade de estudos futuros acerca do comportamento da economia brasileira no século XXI.

4 Conclusão

Este artigo propôs-se a investigar a relação entre a crise financeira de 2008 e a trajetória de crescimento do logaritmo natural do PIB *per capita* em uma amostra de países, com foco na diferença entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento. A hipótese a ser testada nesta pesquisa é a de que os efeitos da crise foram mais intensos nas economias desenvolvidas do que nas economias em desenvolvimento.

Para tanto, empregou-se um modelo econométrico baseado na abordagem proposta por Jones (1995), utilizando a tendência de crescimento do logaritmo do PIB *per capita* e analisando a significância do coeficiente de interação entre a variável de tendência de crescimento e uma variável *dummy* para o período pós-2008. Os resultados obtidos das 22 regressões para cada país foram armazenados e agrupados em uma tabela.

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que a crise de 2008 apresenta uma relação estatisticamente significativa, e negativa, com a taxa de crescimento do PIB *per capita* em economias desenvolvidas. Em contraste, quase todas as economias em desenvolvimento analisadas não apresentaram relação significativa, sugerindo que, para esses países, a crise de 2008 não está estatisticamente associada à trajetória de crescimento do PIB *per capita*. O caso brasileiro destaca-se por apresentar um resultado diferente do esperado para economias em desenvolvimento.



Este trabalho é apenas um passo inicial na compreensão da crise de 2008. Ele não estabelece relações de causalidade entre a crise e as alterações nas tendências de crescimento dos países. As razões pelas quais algumas economias foram fortemente afetadas e outras não oferecem um campo fértil para pesquisas futuras. Além disso, a inclusão de um conjunto mais amplo de variáveis de controle no modelo econométrico pode oferecer melhores explicações acerca da causalidade entre as variáveis. A análise do caso brasileiro, em particular, requer um foco especial, a fim de desvendar as razões existentes para esse resultado inesperado.

A crise financeira de 2008, portanto, não pode ser vista apenas como um evento histórico isolado e superado, mas sim como um laboratório complexo para a compreensão da globalização e de suas consequências mais profundas, cujas lições continuam a moldar o debate e a pesquisa na Ciência Econômica.

Referências

BERNANKE, Ben S. The financial accelerator and the credit channel. 2007. Disponível em: <https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/bernanke20070615a.htm>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CARLIN, Wendy; SOSKICE, David. Macroeconomics: institutions, instability, and the financial system. Oxford: Oxford University Press, 2015.

JONES, Charles I. Time series tests of endogenous growth models. The Quarterly Journal of Economics, v. 110, n. 2, p. 495–525, 1995.

KEYNES, John Maynard. A teoria geral do emprego, do juro e da moeda. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (Coleção Os Economistas).

MANKIW, N. Gregory. Um curso rápido de revisão de macroeconomia. Journal of Economic Literature, v. 28, p. 1645–1669, 1990. Tradução de T. S. Afanasieff e M. G. Rodriguez. Revisão de V. Bastos.

MARTINS, Carlos Eduardo. Globalização, dependência e neoliberalismo na América Latina. São Paulo: Boitempo, 2011.

MARX, Karl. O capital: crítica da economia política. Livro I. Tradução de Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo, 2013.

QUINN, William; TURNER, John D. Boom and bust: a global history of financial bubbles. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.

RICARDO, David. Princípios de economia política e tributação. São Paulo: Abril Cultural, 1974. (Coleção Os Pensadores).



Análise das emissões de dióxido de carbono (CO₂) associadas aos sites institucionais da Universidade de Brasília

Analysis of Carbon Dioxide (CO₂) Emissions Associated with the Institutional Websites of the University of Brasília

Amanda Gonçalves Rodrigues¹⁵

Bruno Xavier Moraes¹⁵

Tennyson Santos Silva Soares¹⁵

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi
da Conceição¹⁵

Prof. Dr. Uidemar Moraes
Barral¹⁵

O avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) impulsiona um consumo crescente de energia e emissões de dióxido de carbono (CO₂), ainda subquantificados em instituições de ensino e pesquisa. Este estudo estimou o consumo energético e as emissões de CO₂ do tráfego de dados dos websites da Universidade de Brasília (UnB), utilizando o modelo Sustainable Web Design (SWD) adaptado com dados nacionais. O consumo médio foi de $2,38 \times 10^{-4}$ quilowatt-hora (kWh) por acesso, resultando em uma emissão média de $6,45 \times 10^{-3}$ gramas de dióxido de carbono (gCO₂). A análise identificou que 11,0% das páginas avaliadas excederam o consumo médio, principalmente devido ao uso intensivo de imagens em alta resolução (.jpg, .png, .jpeg), que representaram 82,7% dos dados transferidos. Para 2022, a emissão total estimada foi de 118.563,4 gCO₂, valor comparado ao estoque acumulado de carbono de um peixeiro ao longo de sua vida. Apesar da infraestrutura digital da UnB ser relativamente eficiente, impulsionada pela otimização do tráfego e pela matriz elétrica renovável brasileira, as TICs globalmente representam um desafio ambiental crescente. A contínua digitalização e o aumento do tráfego de dados projetam um consumo energético que pode anular ganhos de eficiência e dificultar a mensuração de emissões dispersas. Conclui-se que o crescimento da comunidade universitária e a expansão da digitalização exigem monitoramento constante e estudos periódicos para fundamentar decisões sustentáveis e promover a gestão ambiental responsável da infraestrutura digital.

Palavras-chave: tecnologias da informação e comunicação; emissões de CO₂; websites institucionais; eficiência energética; consumo energético.

The advancement of Information and Communication Technologies (ICTs) drives increasing energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions, which are still poorly quantified in educational and research institutions. This study estimated the energy consumption and CO₂ emissions from data traffic on the University of Brasília's (UnB) websites, using the Sustainable Web Design (SWD) model adapted with national data. The average consumption was estimated at 2.38×10^{-4} kilowatt-hours (kWh) per access, resulting in an average emission of 6.45×10^{-3} grams of carbon dioxide (gCO₂).

¹⁵ Curso de Graduação de Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF. Email: amanda.rodriguesciamb@gmail.com; bragamoraes28@gmail.com; tennyson.ciamb@gmail.com; pedrozuchi@unb.br e uidemar.barral@unb.br.



The analysis identified that 11.0% of the evaluated pages exceeded the average consumption, mainly due to the intensive use of high-resolution images (.jpg, .png, and .jpeg), which represented 82.7% of the transferred data. For 2022, the total estimated emission was 118,563.4 gCO₂, a value compared with the lifetime accumulated carbon stock of a single pequi tree. Despite UnB's digital infrastructure being relatively efficient, driven by traffic optimization and Brazil's renewable electricity matrix, ICTs globally represent a growing environmental challenge. Continuous digitalization and increasing data traffic project an increase in energy consumption that may offset efficiency gains and hinder the quantification of dispersed emissions. It is concluded that the growth of the university community and the expansion of digitalization require constant monitoring and periodic studies to support sustainable decision-making and promote the environmentally responsible management of digital infrastructure.

Keywords: information and communication technologies; CO₂ emissions; university websites; energy efficiency; energy consumption.

JEL Classification: Q53; Q56; Q40

1 Introdução

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) englobam dispositivos digitais usados para coletar, processar, armazenar e transmitir informações. A Internet, baseada em protocolos padronizados, permite a transferência de dados entre computadores globalmente conectados. Websites, identificados por URLs e hospedados em data centers, são a principal interface entre usuários e sistemas, organizando conteúdos digitais e viabilizando seu acesso via redes de comunicação.

O avanço das TICs transformou práticas sociais, educacionais e produtivas, impulsionando crescimento econômico e produtividade, e, em alguns casos, reduzindo a intensidade energética (Shahiduzzaman; Layton; Alam, 2015). Porém, a infraestrutura necessária, data centers, redes e dispositivos, demanda consumo contínuo e crescente de energia. O funcionamento da infraestrutura digital implica um elevado consumo energético em escala global. Estima-se que esse consumo alcance cerca de 416,2 terawatt-horas por ano (TWh/ano), o equivalente a aproximadamente 0,23% do consumo mundial de eletricidade (Al-Mhdawi; Al-Raweshidy, 2018). Além disso, as TICs são responsáveis por cerca de 2% das emissões globais de CO₂ (Belkhir; Elmeligi, 2018). Esses valores variam conforme a eficiência dos equipamentos e o design dos serviços. Apesar da importância, os impactos ambientais dos serviços digitais são pouco mensurados, especialmente em países em desenvolvimento e no meio acadêmico (Salvia et al., 2018). A digitalização acelerada, impulsionada pela Internet das Coisas (IoT), que poderá conectar até 50 bilhões de dispositivos (Ai; Peng; Zhang, 2018; Evans, 2011), tem ampliado o tráfego global de dados, que aumentou oito vezes desde 2010 (Giambene, 2021).

Estudos recentes têm demonstrado que websites universitários contribuem para emissões de carbono associadas às TICs, evidenciando que parâmetros como o tamanho das páginas, o volume de dados transferidos e o design influenciam a pegada de carbono desses serviços digitais (Sánchez-Cuadrado; Morato, 2024).

Em instituições como a Universidade de Brasília (UnB), a digitalização acadêmica e administrativa depende de uma infraestrutura robusta de websites institucionais. O uso intenso por milhares de usuários aumenta o tráfego de dados e as emissões de CO₂ associadas ao consumo energético. Em 2022, a Universidade de Brasília possuía 50.361 alunos regulares de graduação e pós-graduação *stricto sensu*, evidenciando a magnitude de sua comunidade acadêmica e o potencial volume de utilização de seus websites institucionais (Universidade de Brasília, 2023).

O tráfego de dados em websites demanda energia tanto da infraestrutura física, como servidores e data centers, quanto das características técnicas das próprias páginas. Elementos visuais complexos, como imagens em alta resolução, scripts pesados e animações, exigem maior capacidade de processamento dos servidores e dispositivos de acesso, resultando em um consumo energético significativamente mais elevado (Jagroep et al., 2015). Websites mal otimizados podem consumir várias vezes mais energia do que páginas simples e bem estruturadas.

Os data centers são ambientes críticos, responsáveis por manter os serviços digitais operando de forma contínua, e por isso concentram grande parte do consumo energético do sistema digital (Pinto; De Campos; De Azevedo, 2021; EPE, 2024). As redes de comunicação

também demandam energia elétrica para transmitir dados, o que contribui para o consumo total.

A infraestrutura web da Universidade de Brasília é regulamentada pela Instrução STI nº 0004/2023, que estabelece diretrizes para padronização, segurança e conformidade das páginas institucionais, que devem operar sob o domínio “unb.br”. A Superintendência de Tecnologia da Informação (STI) é responsável pelo serviço de hospedagem e pela segurança da informação, enquanto as unidades acadêmicas e administrativas são responsáveis pela atualização dos conteúdos em alinhamento com os objetivos institucionais e requisitos legais. O Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação (PDTIC 2023–2028) orienta os investimentos em TIC na Universidade de Brasília, com foco em gestão eficiente e alinhamento com a missão institucional.

A mensuração das emissões de dióxido de carbono (CO₂) associadas ao consumo de energia elétrica decorrente do tráfego de dados em websites apresenta desafios metodológicos, em razão da diversidade de variáveis envolvidas. As estimativas podem se restringir à transmissão de dados em âmbito nacional, ou adotar uma abordagem mais abrangente, que inclui data centers, infraestrutura internacional, equipamentos locais, dispositivos dos usuários e até a energia incorporada à fabricação desses dispositivos.

As emissões de CO₂ associadas à operação de websites não decorrem apenas da atividade digital em si, mas da energia consumida por servidores, redes de dados e dispositivos dos usuários. Mesmo acessos simples mobilizam data centers e infraestrutura de telecomunicação, cujas emissões de CO₂ dependem da origem da eletricidade. Segundo Freitag et al. (2021), o setor de TIC pode responder por até 3,9% das emissões globais, com tendência de alta diante da crescente digitalização. A natureza distribuída da infraestrutura digital dificulta a medição precisa das emissões, que se espalham entre servidores, redes, armazenamento e dispositivos. Como destaca Gupta et al. (2021), os inventários tradicionais de carbono não capturam adequadamente esses impactos indiretos.

O impacto também varia conforme a localização do acesso. Países com matrizes limpas, como o Brasil, apresentam emissões por acesso bem menores do que regiões dependentes de combustíveis fósseis, como a Polônia (Istrate et al., 2024). Outro fator relevante é a complexidade dos sites: páginas mais pesadas e dinâmicas exigem mais processamento e, portanto, mais energia (Kennedy, 2023). Compreender as emissões digitais requer uma abordagem multidimensional, considerando infraestrutura, design, matriz energética e localização. A sustentabilidade digital passa pela eficiência técnica e pela conscientização sobre os impactos do uso online.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo estimar a emissão média de CO₂ associada ao consumo de energia elétrica proveniente do tráfego de dados nos websites vinculados ao domínio da UnB, com o intuito de fomentar discussões sobre os impactos digitais sob a perspectiva das emissões decorrentes da transferência de dados na Internet. Os objetivos específicos incluíram: calcular o consumo médio de energia elétrica associado ao tráfego de dados dos websites da UnB; analisar a variabilidade desse consumo por data e faixa horária; projetar um cenário anual de emissões de CO₂ associadas ao tráfego; e identificar padrões de consumo que se desviem significativamente da média.

Adotou-se como referência a metodologia proposta pelo modelo *Sustainable Web Design* (SWD), utilizada pela ferramenta *Website Carbon Calculator*, que estima o consumo

de eletricidade com base no volume de dados transferidos e nos valores de intensidade energética dos setores de data centers, redes e dispositivos dos usuários. A metodologia também considera a intensidade de emissão de CO₂ da matriz energética local para calcular as emissões associadas ao consumo de energia elétrica decorrente do tráfego de dados (Aslan et al., 2018).

A pesquisa justifica-se pela ausência de dados consolidados sobre o consumo energético da infraestrutura digital da universidade, o que limita o planejamento de ações voltadas à sustentabilidade e à eficiência energética. A otimização de páginas, a racionalização da infraestrutura e a revisão de padrões de design e hospedagem são passos iniciais em um processo mais amplo de aprimoramento institucional. Em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é fundamental ampliar a visibilidade de fontes de impacto ambiental ainda negligenciadas, como o uso cotidiano de plataformas digitais em ambientes acadêmicos (Bieser; Hilty, 2018). Mesmo ações corriqueiras, como o carregamento de uma página web, podem gerar emissões significativas quando consideradas em larga escala (Coroama et al., 2015). Espera-se que os resultados deste estudo possam servir de referência para outras instituições que busquem compreender e monitorar seus impactos digitais.

2 Materiais e métodos

A estimativa do consumo energético e das emissões de CO₂ associadas ao tráfego de dados dos websites da Universidade de Brasília (UnB) baseou-se em uma adaptação do modelo *Sustainable Web Design* (SWD), adequado ao contexto brasileiro. A abordagem *bottom-up* adotada, alinhada aos avanços na eficiência energética da infraestrutura digital (Schien et al., 2015; Hinton et al., 2015), priorizou emissões operacionais de CO₂, considerando os segmentos de data centers, redes de telecomunicações e dispositivos dos usuários.

As intensidades energéticas (kWh/GB) de cada segmento foram calculadas a partir de dados nacionais, substituindo médias globais por informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). O consumo de data centers foi estimado com base na CNAE de hospedagem de dados; o das redes, a partir da CNAE de telecomunicações; e o dos dispositivos finais foi inferido proporcionalmente ao modelo original do SWD. O volume de dados trafegados no Brasil foi obtido pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), somando os acessos de banda larga fixa e móvel.

Com a intensidade energética nacional consolidada, estimou-se o consumo médio por visualização de página (*page view*), correspondente à soma das intensidades dos três segmentos. As emissões incorporadas não foram consideradas devido à ausência de dados específicos para o setor digital brasileiro.

Para a definição da amostra, desenvolveu-se um processo automatizado que percorre os links do rodapé do site principal da UnB (<https://www.unb.br>), acessando recursivamente páginas internas sob o domínio unb.br. As URLs extraídas foram armazenadas em banco de dados e estratificadas por unidade organizacional com base em sua identificação textual. A amostra foi então composta por seleção aleatória estratificada, garantindo representatividade institucional.

O volume de dados transferidos por página foi medido por um script em Node.js com a biblioteca *Puppeteer*, que simula o carregamento dos sites e intercepta as requisições de rede. Os acessos foram realizados com intervalo de 5 segundos e até 3 tentativas por URL, extraindo os campos *Content-Length* e *Content-Type* dos cabeçalhos HTTP. Os recursos foram categorizados por tipo (imagem, vídeo, texto, script e CSS), e os dados foram organizados por tipo e extensão predominantes.

A execução foi automatizada para ocorrer em cinco horários distintos por dia (09h00, 11h30, 15h00, 17h30 e 21h00) durante cinco dias úteis consecutivos (4 a 10 de junho de 2025), abrangendo diferentes padrões de uso. A janela temporal foi adotada como recorte operacional da utilização dos websites institucionais durante dias úteis. Os horários foram definidos para representar diferentes períodos de utilização dos serviços digitais ao longo do expediente.

Cada URL foi acessada 25 vezes, e os dados de transferência foram convertidos de bytes para gigabytes (GB). O consumo energético (kWh) foi calculado multiplicando-se o volume transferido pelas intensidades energéticas segmentadas. A primeira etapa analítica organizou os dados por data e faixa horária, permitindo identificar padrões temporais. Foram calculados dois CVs adicionais: (i) entre dias, para cada faixa horária, e (ii) entre faixas horárias, para cada dia.

Na segunda análise, aplicou-se o Intervalo Interquartil (IQR) para detectar valores atípicos entre as médias de consumo das URLs, identificando websites com comportamento significativamente divergente. Para esses valores atípicos, foi realizada uma análise detalhada da distribuição de bytes transferidos por tipo e extensão. O objetivo foi identificar os fatores que contribuem para esses desvios.

A emissão média de CO₂ por visualização de página foi calculada a partir do consumo energético médio (kWh), multiplicado pelo fator de emissão da matriz elétrica brasileira para o ano de 2022, obtido do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE/MCTI, 2024).

A emissão total foi estimada considerando o número de acessos por usuário da comunidade acadêmica em 2022. Por fim, o valor foi comparado ao estoque acumulado de carbono de um pequizeiro, árvore da espécie *Caryocar brasiliense*, nativa do Cerrado, que pode estocar em média 8.710.000 gCO₂ ao longo de sua vida, o que equivale a 8,71 Mg de CO₂ (Teixeira et al., 2022).

3 Resultados e discussões

Em 2022, a intensidade energética da internet no país foi estimada em 0,1091 kWh/GB, calculada com base no consumo total de 9.101.140.000 kWh e no volume de 83,40 Exabytes de dados trafegados no mesmo ano. Esses dados estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa de consumo energético para os segmentos de data centers, redes e dispositivos para o Brasil

Segmento	Consumo --GWh--	Consumo --kWh--	Intensidade --kWh/GB--
Data centers	1.421,87	1.421.870.000	0,0170
Redes	3.928,16	3.928.160.000	0,0471
Dispositivos	3.751,79	3.751.790.000	0,0450
Total	9.101,14	9.101.140.000	0,1091

Fonte: Elaboração própria, com base em EPE (2024), Anatel e adaptação do modelo Sustainable Web Design.

Com a aplicação da metodologia, foram mapeadas 1.015 URLs de sites vinculados à Universidade de Brasília. A estratificação por setor, com seleção aleatória, reduziu a amostra para 327 URLs, distribuídas em 11 categorias institucionais: Biblioteca Central, Centros, Decanatos, Educação a Distância, Faculdades, Fazenda Água Limpa, Hospital Veterinário, Institutos, Restaurante Universitário, Secretarias e UnBTV. Para cada URL, o tráfego de dados foi medido conforme as datas e faixas horárias definidas.

Os valores médios de consumo energético (em kWh) por acesso, por data e por horário, bem como seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação (CV) indicaram uma baixa dispersão dos dados, com coeficiente de variação médio de 3,87% entre os dias analisados e 3,53% entre os horários ao longo do dia. Esses resultados sugerem que o consumo energético associado ao uso dos websites institucionais da Universidade de Brasília é relativamente constante, sem picos ou oscilações significativas, reforçando a confiabilidade dos dados coletados e a representatividade da amostra analisada.

Tabela 2 - Indicadores estatísticos do consumo energético estimado de sites da Universidade de Brasília

Categoria	Média --kWh--	Mediana --kWh--	Desvio Padrão --kWh--	Coef. de Variação --%--
Por data	-	-	-	3,87
Por hora	-	-	-	3,53
Estimativa Geral	0,000238	0,0000970	0,000413	174

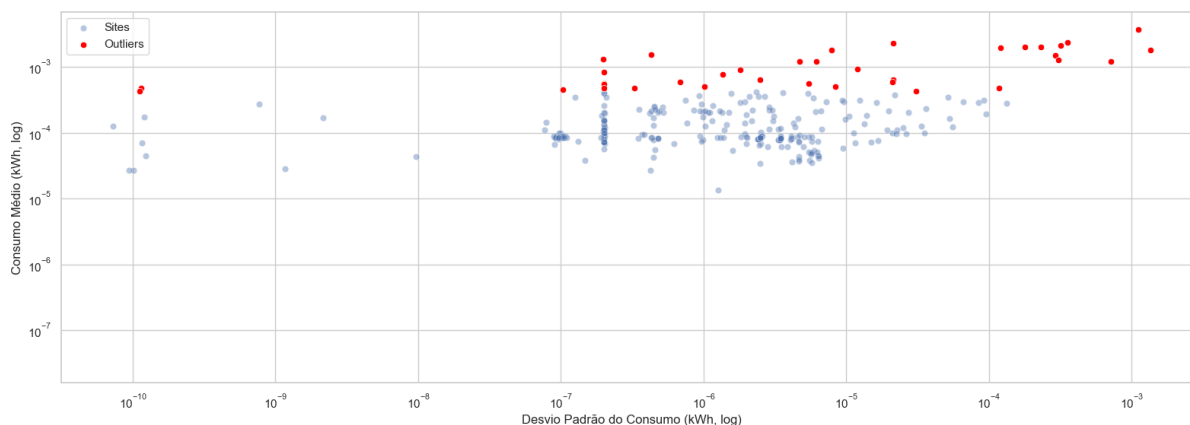
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados coletados nos websites institucionais da UnB.

O consumo médio de energia elétrica foi de $2,38 \times 10^{-4}$ kWh por visualização de página, valor superior à mediana de $9,70 \times 10^{-5}$ kWh, o que indica uma distribuição assimétrica influenciada por páginas com alto consumo. O desvio padrão de $4,13 \times 10^{-4}$ kWh revela uma variabilidade significativa entre os sites, atribuída à complexidade visual, ao uso de imagens em alta resolução, scripts pesados e à ausência de otimização em determinadas

páginas. Essa heterogeneidade reflete a autonomia das unidades acadêmicas e administrativas na gestão de seus conteúdos digitais, ainda que sob as diretrizes da STI. O coeficiente de variação elevado ($>100\%$) evidencia uma disparidade expressiva entre os consumos médios das páginas, sinalizando que alguns sites da universidade apresentam ineficiência energética acentuada.

Com a aplicação do IQR, foi possível avaliar a variabilidade das médias de consumo energético individual por URL em relação à média global dos sites da UnB, com o objetivo de identificar observações que justificassem o elevado coeficiente de variação, superior a 100% . O resultado é apresentado na Figura 1, que ilustra a dispersão dos outliers, ou seja, as URLs cujas médias de consumo energético se desviam significativamente da média geral. Dentre as 327 páginas analisadas, 36 ($11,0\%$) apresentaram consumo acima da média, sendo identificadas como outliers superiores segundo o critério de Tukey (consumo médio de energia acima de $Q3 + 1,5 \times IQR$) não simplesmente por apresentarem consumo acima da média aritmética.

Figura 1 - Dispersão de outliers no consumo médio de energia por site



Fonte: Elaboração própria, a partir da análise IQR das URLs avaliadas.

O gráfico da Figura 1 demonstra que, entre os 36 sites classificados como outliers, as imagens respondem por $82,7\%$ do tráfego de dados (323.274.490 bytes), predominantemente nos formatos .jpg ($50,8\%$), .png ($46,9\%$) e .jpeg. Os conteúdos em texto representam $15,8\%$ do tráfego, enquanto os scripts correspondem a apenas $1,4\%$. Não foi possível determinar a antiguidade das imagens a partir dos dados coletados. Essa distribuição evidencia que as imagens em alta resolução constituem o principal fator responsável pelo elevado consumo de dados e, conseqüentemente, pelo aumento do impacto energético e das emissões de CO_2 nesse grupo específico. A otimização dessas imagens, portanto, configura-se como uma medida eficaz para reduzir a pegada de carbono.

Considerando a população universitária da UnB em 50.361 pessoas e assumindo ao menos um acesso diário por indivíduo a websites institucionais ao longo de 2022, o total projetado de acessos foi de aproximadamente 18,38 milhões. Com base na emissão média de $6,45 \times 10^{-3} \text{ gCO}_2$ por acesso, estimou-se uma emissão total anual de 118.563,4 gCO_2 . Esse valor foi comparado ao estoque acumulado de carbono da espécie arbórea Caryocar

brasiliense, nativa do Cerrado, ao longo de sua vida. Essa comparação foi utilizada apenas como referência interpretativa para dimensionar as emissões digitais anuais estimadas nesse cenário.

Projetando esse consumo para um período de 10 anos, mantendo as mesmas condições de acesso e número de usuários, a emissão acumulada seria de aproximadamente 1.185.634 gCO₂, o que equivale a 1,19 toneladas de CO₂ equivalente. Embora esse valor possa parecer relativamente baixo se comparado a outras fontes de emissão, ele evidencia a crescente relevância ambiental das atividades digitais, especialmente quando associado a uma única instituição pública.

4 Conclusão

Neste estudo, analisou-se a emissão média de dióxido de carbono (CO₂) associada ao consumo energético do tráfego de dados dos websites sob o domínio da Universidade de Brasília (UnB), utilizando uma amostra de mais de 300 URLs medidas ao longo de cinco dias úteis e em diferentes horários. Estimou-se uma intensidade energética da internet no Brasil de 0,1091 kWh/GB e uma emissão média de $6,45 \times 10^{-3}$ gCO₂ por visualização de página. Os resultados indicaram um padrão estável de consumo ao longo dos dias e horários analisados, e identificaram que 36 das 327 páginas (11,0%) concentram consumo acima da média, devido à alta proporção de imagens em alta resolução.

Com base no total projetado de acessos em 2022, a emissão anual estimada foi de 118.563,4 gCO₂, quantidade comparada ao estoque acumulado de carbono de uma árvore da espécie Caryocar brasiliense ao longo de sua vida. Esses resultados sugerem um uso relativamente eficiente da infraestrutura web institucional, em parte favorecido pelo fato de a matriz elétrica brasileira ser majoritariamente renovável. Ainda assim, é crucial reconhecer que, em um contexto mais amplo, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) representam um desafio ambiental relevante.

Globalmente, o uso das TICs pode corresponder a até 2% das emissões mundiais de carbono, e em 2020, o setor foi responsável por cerca de 4% da eletricidade consumida e aproximadamente 1,4% das emissões de gases de efeito estufa globalmente. A crescente digitalização e o aumento do tráfego de dados projetam um aumento contínuo no consumo de energia, o que tende a neutralizar os ganhos de eficiência. A dispersão e a invisibilidade dessas emissões, fragmentadas entre servidores, redes e dispositivos, tornam o problema mais complexo de mensurar e gerenciar.

O crescimento da comunidade acadêmica e o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação reforçam a necessidade de ações permanentes de monitoramento. Essas ações são essenciais não apenas para reduzir o impacto ambiental digital, mas também para enfrentar limitações como a ausência de dados nacionais consolidados sobre redes, dispositivos e centros de dados, e a falta de métricas precisas de acesso aos websites. O aprimoramento contínuo dessas estimativas é indispensável para subsidiar decisões sustentáveis na gestão da infraestrutura digital das instituições públicas.

Referências



AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Dados de acessos e tráfego de banda larga fixa e móvel no Brasil. Brasília: Anatel, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

AI, Yuan; PENG, Mugen; ZHANG, Kecheng. Edge computing technologies for Internet of Things: a primer. *Digital Communications and Networks*, v. 4, n. 2, p. 77-86, 2018.

AL MHDAMI, Ammar K.; AL-RAWESHIDY, Hamed S. iPRDR: Intelligent power reduction decision routing protocol for big traffic flood in hybrid-SDN architecture. *IEEE Access*, v. 6, p. 10944-10955, 2018.

ASLAN, Joshua et al. Electricity intensity of internet data transmission: Untangling the estimates. *Journal of industrial ecology*, v. 22, n. 4, p. 785-798, 2018.

BELKHIR, Lotfi; ELMELIGI, Ahmed. Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of cleaner production*, v. 177, p. 448-463, 2018.

BIESER, Jan; HILTY, Lorenz. Indirect effects of the digital transformation on environmental sustainability: methodological challenges in assessing the greenhouse gas abatement potential of ICT. *EPiC Series in Computing*, n. 52, p. 68-81, 2018.

COROAMA, Vlad C. et al. The energy intensity of the Internet: home and access networks. In: *ICT innovations for sustainability*. Springer International Publishing, 2015. p. 137-155.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica – 20 anos. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em: 4 jul. 2025.

EVANS, Dave et al. *The internet of things. How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything*. Whitepaper, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), v. 1, p. 1-12, 2011.

FREITAG, Charlotte et al. The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations. arXiv preprint arXiv:2102.02622, 2021.

GIAMBENE, Giovanni. IP-Based Networks and Future Trends. In: *Queueing Theory and Telecommunications: Networks and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 65-182.

GUPTA, Udit et al. Chasing carbon: The elusive environmental footprint of computing. In: 2021 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA). IEEE, 2021. p. 854-867.

HINTON, Kerry; JALALI, Fatemeh; MATIN, Ashrar. Energy consumption modelling of optical networks. *Photonic Network Communications*, v. 30, n. 1, p. 4-16, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ISTRATE, Robert et al. The environmental sustainability of digital content consumption. *Nature Communications*, v. 15, n. 1, p. 3724, 2024.



JAGROEP, Erik A. et al. An Energy Consumption Perspective on Software Architecture: A Case Study on Architectural Change. In: *European Conference on Software Architecture*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 239-247.

KENNES, Tom. Measuring IT carbon footprint: What is the current status actually?. arXiv preprint arXiv:2306.10049, 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil – Ano Base 2024. Brasília: MCTI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 4 jul. 2025.

PINTO, Marcos M. F.; DE CAMPOS, Patrícia Klinkerfus; DE AZEVEDO, Viviane Ramalho. Sustentabilidade de data centers com o uso da TI-Verde. *Revista Científica e-Locução*, v. 1, n. 20, p. 18, 2021.

SALVIA, Amanda L. et al. Analysis of energy consumption and efficiency at University of Passo Fundo—Brazil. In: *Towards Green Campus Operations: Energy, Climate and Sustainable Development Initiatives at Universities*. Springer, 2018. p. 519-533.

SCHIEN, Daniel et al. The energy intensity of the Internet: edge and core networks. In: *ICT Innovations for Sustainability*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 157-170.

SÁNCHEZ-CUADRADO, Sonia; MORATO, Jorge. The Carbon Footprint of Spanish University Websites. *Sustainability*, v. 16, n. 13, p. 5670, jul. 2024.

SHAHIDUZZAMAN, Md; LAYTON, Allan; ALAM, Khorshed. On the contribution of information and communication technology to productivity growth in Australia. *Economic Change and Restructuring*, v. 48, n. 3, p. 281-304, 2015.

SUSTAINABLE WEB DESIGN. Sustainable Web Design. Disponível em: <https://sustainablewebdesign.org/>. Acesso em: 18 maio 2025.

TEIXEIRA, Bruno Emanuel et al. The potential of natural shade provided by Brazilian savanna trees for thermal comfort and carbon sink. *Science of the Total Environment*, v. 845, p. 157324, jul. 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157324.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Anuário Estatístico 2023: ano-base 2022. Brasília: UnB, 2023. Disponível em: <https://repositoriodpo.unb.br/anuarios/anuario-estatistico-2023/>. Acesso em: 31 ago. 2026.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação - PDTIC 2023-2028. Brasília: UnB, 2023.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Secretaria de Tecnologia da Informação. Instrução STI nº 0004/2023: Dispõe acerca da difusão de sites web da Universidade de Brasília (UnB) para a Intranet, Internet. Brasília: UnB, 2023. Disponível em: https://etir.unb.br/wp-content/uploads/2024/01/Dispoe_acerca_da_difusao_de_sites_web_da_Universidade_de_Brasilia_UnB_para_Intranet_internet.pdf. Acesso em: 18 maio 2025.



Vantagem Estrutural, Escolha Política: Uma Análise da Contradição entre Potencial e Prática Climática Brasileira nos 10 Anos do Acordo de Paris

Structural Advantage, Political Choice: An Analysis of the Contradiction Between Brazil's Climate Potential and Practice Ten Years After the Paris Agreement

Yasmin Fujiwara¹⁶

Este artigo analisa por que o Brasil, apesar de deter vantagens estruturais para conduzir uma transição de baixo carbono, matriz energética predominantemente limpa e liderança global em biocombustíveis, tem priorizado a maximização econômica de curto prazo em detrimento dos compromissos assumidos no Acordo de Paris. O referencial teórico apoia-se na Economia Ecológica e nas críticas ao paradigma de crescimento centrado no Produto Interno Bruto (PIB) (Georgescu-Roegen, 1971; Daly, 1997; Sen, 2010; Sachs, 2009; Raworth, 2017). Metodologicamente, trata-se de pesquisa qualitativa de caráter documental: analisam-se as três atualizações da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) brasileira submetidas à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) entre 2016 e 2024, documentos oficiais de política energética (EPE; Lei nº 15.190/2025) e dados secundários de emissões, por meio do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), Climate Watch e Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), além de dados fiscais, de produção e de comércio exterior do setor de petróleo, representados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), Pré-Sal Petróleo S.A. (PPSA) e Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Os resultados indicam que os recuos sucessivos nas metas climáticas, o investimento recorde na exploração do pré-sal e a securitização da pauta energética indicam que a dependência fiscal do petróleo não operou como restrição externa, mas foi aprofundada por decisão, por meio da alocação de receitas e de investimentos. Conclui-se que esse descompasso expressa os limites de um modelo de desenvolvimento que desconsidera o teto ecológico da atividade econômica.

Palavras-chave: Acordo de Paris; economia ecológica; NDC; transição energética; Brasil.

This article analyzes why Brazil, despite possessing structural advantages for pursuing a low-carbon transition, including a predominantly clean energy matrix and global leadership in biofuels, has prioritized short-term economic maximization over the commitments undertaken under the Paris Agreement. The theoretical framework draws on Ecological Economics and critiques of the growth paradigm centered on Gross Domestic Product (GDP) (Georgescu-Roegen, 1971; Daly, 1997; Sen, 2010; Sachs, 2009; Raworth, 2017). Methodologically, this is a qualitative documentary study that analyzes the three updates to Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC) submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) between 2016 and 2024, official energy policy documents (EPE; Law No. 15,190/2025), and secondary emissions data from the Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimation System (SEEG), Climate Watch, and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), as well as fiscal, production, and foreign trade data from the oil sector provided by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP), Pré-Sal Petróleo S.A. (PPSA), and the Ministry of Development, Industry, Foreign Trade and Services (MDIC). The results indicate that successive rollbacks in climate targets, record investment in pre-salt exploration, and the securitization of energy policy suggest that fiscal dependence on oil did not operate

¹⁶ Pontifícia Universidade Católica de São Paulo



as an external constraint but was instead deepened through policy decisions involving the allocation of revenues and investments. It is concluded that this mismatch reflects the limitations of a development model that disregards the ecological ceiling of economic activity.

Keywords: Paris Agreement; ecological economics; NDC; energy transition; Brazil.

JEL Classification: Q54; Q57; Q48

1 Introdução

Nas últimas décadas do século XX, consolidou-se uma crescente preocupação social diante da intensificação dos impactos provenientes das atividades humanas sobre o meio natural. Atualmente, tal perspectiva amplia-se em uma escala constante, ao passo que as condições climáticas vigentes atingem marcas recordes e ameaçam diretamente a manutenção da vida no planeta. Como evidência, segundo o reporte anual de 2024 da Organização Meteorológica Mundial (WMO), o ano em questão foi o mais quente já registrado na história, atingindo mais de 1.5°C acima da era pré-industrial, (1850 - 1900) – período usado como referência para análises climáticas. Em paralelo a esse cenário, o Brasil se prepara para sediar a 30ª Conferência das Partes (COP) em novembro de 2025, e assim colocar em pauta políticas relacionadas à mitigação das mudanças climáticas. Diante da relevância do tema, torna-se fundamental compreender de que forma a degradação ambiental se manifesta, identificando seus principais vetores de influência e analisando como os Estados têm administrado seus impactos.

A dimensão dessa análise se pauta através da escala alarmante de certos aspectos, ao passo que, a temperatura reportada em 2024 ultrapassa a meta internacional de limitar o aquecimento global em até 1.5°C. No entanto, é importante ressaltar que, tecnicamente, um único ano não necessariamente compromete inteiramente a meta. Porém, esse marco não é um efeito isolado e sim um índice de reforço da crise climática. Isso porque, desde 1976, há 48 anos, não existe registro de um único ano em que a temperatura tenha sido abaixo da média do século 20 (NOAA, 2025)

O nível da temperatura global reflete muito além da sensação térmica, ele funciona como um indicador do balanço energético da Terra. Isso porque a temperatura demonstra a diferença entre a radiação solar absorvida e o calor devolvido ao espaço, que fazem o planeta reter mais energia do que se dissipa – Efeito Estufa. Assim, quando há equilíbrio, a temperatura média permanece estável e quando há desequilíbrio, ocorre aquecimento ou resfriamento. Nesse sentido, dada a enorme capacidade térmica dos oceanos, é necessário um acréscimo gigantesco de energia para elevar a temperatura média global, mesmo em frações de grau. Assim, até um aumento de cerca de 1 °C desde a era pré-industrial tem um impacto profundo no meio ambiente, uma vez que reflete o acúmulo excessivo em circulação nos sistemas da Terra — oceanos, geleiras, atmosfera e ecossistemas.

Esse cenário é resultado de um processo que está diretamente ligado à expansão acelerada da escala produtiva que acompanha o desenvolvimento desde a Revolução Industrial e que, a partir de certo ponto, torna-se cada vez mais evidente, levando a transformações na forma como a sociedade passa a compreender sua relação com a natureza. Assim, a formulação de políticas de progresso econômico exige, cada vez mais, a incorporação de um alicerce ecológico que estabeleça os limites das condições planetárias, necessidade que nunca foi tão urgente quanto nos últimos anos.

Diante disso, o presente trabalho analisa por que o Brasil, apesar de deter vantagens estruturais para conduzir uma transição de baixo carbono, como uma matriz energética predominantemente limpa e a liderança global em biocombustíveis, tem priorizado sistematicamente a maximização econômica de curto prazo em detrimento dos compromissos climáticos assumidos no Acordo de Paris. Para isso será realizada uma análise documental

proveniente de órgãos climáticos especializados, a fim de demonstrar as vantagens estruturais para uma matriz energética limpa e os principais setores responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa.

A fim de uma visão aplicada e um entendimento profundo das políticas de mitigação, será analisada a atuação do Brasil, ao longo dos 10 anos de implementação do acordo, de 2015 a 2025, que representa a atitude internacional para frear o aquecimento global, ao propor medidas de mitigação para limitar o aquecimento bem abaixo de 2 °C e preferencialmente em 1,5 °C. Além disso, para sustentar essa reflexão, o estudo se apoiará em referências acadêmicas que problematizam as contradições e limitações de determinados paradigmas econômicos, especialmente aqueles baseados na lógica de crescimento ilimitado e na exploração intensiva dos recursos naturais. Dessa maneira, é possível compreender esse paradoxo entre o potencial brasileiro de transição para um desenvolvimento econômico de baixo carbono e a ausência de políticas efetivas para isso. Esse levantamento é fundamental para compreender o que esse descompasso revela sobre os limites do modelo de crescimento centrado no PIB.

Para responder a essa pergunta, adota-se como referencial teórico a Economia Ecológica e as críticas ao crescimento centrado no PIB, apresentadas na seção 2, a partir das quais a discussão dos dados será conduzida. Metodologicamente, trata-se de pesquisa qualitativa de caráter documental: analisam-se as três atualizações da NDC brasileira submetidas à UNFCCC (2016, 2022 e 2024), documentos oficiais de política energética (EPE; Lei nº 15.190/2025) e dados secundários de emissões (SEEG; Climate Watch; IPCC) e dados fiscais, de produção e de comércio exterior do setor de petróleo (ANP; PPSA; MDIC), confrontando o compromisso declarado com a execução observada. O artigo organiza-se em cinco seções: após esta introdução, a seção 2 apresenta o referencial teórico; a seção 3 dimensiona os impactos climáticos e as responsabilidades setoriais pelas emissões; a seção 4 examina o Acordo de Paris e a trajetória brasileira entre 2015 e 2025; e a seção 5 sintetiza as conclusões.

2 A concepção de um sistema econômico integrada ao meio ambiente

A preocupação em relação à cadeia produtiva e seus limites ecológicos, não é uma discussão recente. O aspecto ambiental do modelo capitalista passou a ser difundido no final do século passado, nas décadas de 80 e 90, especialmente em função dos eventos climáticos dos anos de 1960 e 1970. A preocupação acerca de um futuro ambiental seguro deu foco a perspectivas críticas a respeito da maneira como a economia global era conduzida. O primeiro relatório do Clube de Roma (1972) – Comitê de debates sobre meio ambiente, economia e sociedade – elaborado pelo MIT e chefiado por Donella Meadows, demonstrou através de modelos matemáticos, o rumo catastrófico que o nível de produção avançava, ultrapassando os limites de recursos naturais disponíveis na terra. (Meadows et al., 1972)

O argumento central, identifica que a maneira de compreender o avanço da sociedade não adicionou os limites ecológicos, tanto em relação às consequências quanto à quantidade de reservas de matérias primas. Assim, a ideia de progresso para frente e para cima se estruturou a partir da concepção da economia baseada na maximização produtiva. De modo que o cerne dessa lógica indica que o bom sempre vem a partir do crescimento em capital, assim reduzindo espaço para entender o equilíbrio como fonte de prosperidade.

A expansão econômica dos países se estruturou centralizado no aumento do PIB, desde o século XX, ele tem sido o foco exclusivo de medidor de progresso econômico. Esse cenário permite que seja ignorada tanto a desigualdade social quanto a finitude dos recursos naturais (Daly, 1997). Em consonância com a teoria, quando aplicado ao cenário prático é possível observar que, o Brasil presencia um cenário de flexibilização do comprometimento climático previsto no Acordo de Paris, tema que será abordado na seção 4, em que se discute a frequente relativização das metas ambientais em nome do aumento de capital imediato. Assim, as noções de progresso e modernização, tem reforçado a dependência de setores intensivos em carbono e dificultado a transição para uma economia sustentável. Essa dinâmica reflete o predomínio de uma racionalidade econômica que privilegia indicadores quantitativos, como o PIB e a expansão do mercado, em detrimento de métricas qualitativas de sustentabilidade, equidade e resiliência ecológica.

Em contrapartida teóricos da segunda metade do século 20 que defendem uma proposta econômica equilibrada ao meio ambiente como (Georgescu-Roegen, 1971; Kuhn, 1995; Sachs, 2009; Sen, 2010) visam equilibrar esses dois aspectos defende-se a proposta de uma economia regenerativa e distributiva, na qual políticas públicas, empresas e instituições devem buscar soluções que respeitem os limites planetários e assegurem justiça social (Raworth, 2017). Assim, defende-se considerar um teto ecológico para o avanço econômico é entender que a prosperidade humana depende da prosperidade do planeta. Dessa forma, a riqueza não se confunde com o crescimento do PIB, mas sim com a construção de uma sociedade mais justa e equilibrada, orientada pelo bom viver e pela superação da adversidade e do sofrimento.

Levando em conta a responsabilidade social do desenvolvimento, é imprescindível enxergar que os seres humanos devem ser vistos como fins em si mesmos, e não apenas como meios para a expansão da produção. Assim, a prosperidade material e a geração de riqueza não constituem a finalidade última do progresso, mas sim meios intermediários que só têm valor na medida em que ampliam as liberdades e capacidades das pessoas para levarem a vida que valorizam (Sen, 2010). Essa reorientação defende que o progresso deve ir além do foco da eficiência econômica e priorizar as necessidades básicas de um indivíduo, como a qualidade de vida das pessoas, redução da pobreza, justiça social e operar dentro de um limite ecologicamente sustentável¹⁷.

A partir disso, na visão de Sachs (2009) demonstra como é preciso haver desenvolvimento para combater a pobreza e a desigualdade. No entanto, esse processo deve ser orientado pelo bem-estar social como finalidade última. Dessa forma, essa visão contrasta com a realidade observada nas políticas de geração de energia do Brasil, que, em grande medida, ainda privilegiam resultados financeiros de curto prazo em detrimento da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida da população. Tal desconexão evidencia a ausência de um compromisso efetivo com um modelo de expansão sustentável, capaz de harmonizar progresso econômico, equidade social e preservação dos recursos naturais.

Nesse cenário, a própria relação entre crescimento e desenvolvimento estabelece um laço equivocado se esses dois conceitos não estiverem alinhados com o meio ambiente. A expansão das capacidades em uma cadeia sobrecarregada é incapaz de equilibrar os produtos

¹⁷ “Moreover, “degrowth” is not a solution as long as poverty and exclusion remain so pervasive, A redistribution of income and wealth is practically impossible in the absence of growth.” (Sachs, 2009)

desse crescimento. Nesse modelo existe um descompasso entre teoria econômica e sua aplicação, por desconsiderar as dinâmicas metabólicas reais do planeta terra. Isso é definido a partir da termodinâmica da Lei de Entropia, que define que toda transformação energética, eventualmente será dissipada, portanto, inaproveitável,

De modo que, em um sistema fechado, como no caso do planeta Terra, não existe troca de material, apenas de energia, uma vez que tudo está interconectado. Nessa condição, o princípio da entropia implica que, ao longo do tempo, a energia útil tende a se dissipar, resultando em produtos de menor valor energético e menor capacidade de reaproveitamento. Em oposição, os seres humanos correspondem a sistemas abertos, pois trocam tanto matéria quanto energia com o ambiente ao seu redor. Também é assim que a lógica econômica predominante mantém sua organização material e cresce em escala.

Assim, a percepção comum de que o regime econômico seria naturalmente circular, sendo capaz de se autorregular e regenerar indefinidamente, ignora o fato de que ele está inserido em um ambiente físico que não opera na mesma velocidade de reposição e processamento de matéria (Georgescu-Roegen, 1971).

A partir disso, coloca-se um contraponto para a metáfora mecânica da economia, que considera que a manutenção do modelo se baseia na alocação dos fatores e propõe uma visão simplista ao considerar a produção isolada da natureza. Especialmente, à teoria neoclássica, ao ignorar a diferença qualitativa entre os fatores de produção – capital, terra e trabalho. Assim, qualquer crise na cadeia produtiva poderia ser resolvida alocando investimento em um desses três agentes, assim essa substituição entre os fatores não considera limites. Essa lógica de raciocínio, é fundamental no conceito de elasticidade de substituição, nesse sentido, se o preço de um recurso natural aumenta, sua participação relativa no processo produtivo tenderia a cair, sendo compensada pelo maior uso de capital. Na visão neoclássica, isso seria interpretado como uma substituição de recursos naturais por capital.

Contudo, esse método desconsidera que todo bem-produzido depende de fluxos de energia e materiais advindos da natureza, seja diretamente ou por meio do reaproveitamento de resíduos. Assim a produção só pode ocorrer mediante a disponibilidade de capital natural. Mesmo que os bens de capital possam tornar o uso de recursos mais produtivos, existe um limite físico e termodinâmico para essa eficiência. A partir dessa concepção constrói-se a noção equivocada de que o do dinheiro é unidade de valor capaz de agregar fatores com características distintas e, com isso, reduzir a importância relativa dos recursos naturais frente aos demais insumos (Kuhn, 1995, p. 225).

Para fundamentar a noção de uma organização econômica isolada, a concepção de Adam Smith sobre o modelo, explica como essa noção foi construída desde o século XIX. Ao cunhar o conceito chave de “Mão Invisível do Mercado”, orienta-se a relação entre os agentes da economia e as leis de oferta e demanda. De modo que se constrói a percepção de uma suposta eficiência regulatória do próprio mercado, capaz de articular interesses mútuos entre os atores e, simultaneamente, promover a geração de bens e empregos. Dessa forma, o mercado deve permanecer livre de restrições, uma vez que, por si só, é considerado distributivo e capaz de alcançar um equilíbrio natural. Sob tal abordagem, fica nítido o reforço da ideia de um sistema circular, que opera de maneira autorregulatória e não considera o fluxo de entrada dos recursos naturais.



Essa abstração reforça a visão de que a economia pode operar como em uma lógica isolada, desconectada do meio ambiente. Na mesma linha, as principais escolas de pensamento – marxista, keynesiana, schumpeteriana ou institucionalista – consideram a economia como um sistema materialmente aberto. Essa limitação evidencia como a perspectiva ecológica representa, de fato, uma ruptura paradigmática em relação às visões econômicas tradicionais. Uma vez que, considerar a economia como um fator isolado do meio ambiente é insustentável e se apoiar no equilíbrio de demanda e da oferta para manutenção da estrutura produtiva, é uma concepção que exclui parte vital dessa equação, o meio ambiente, que é o input inicial para dinâmica econômica.

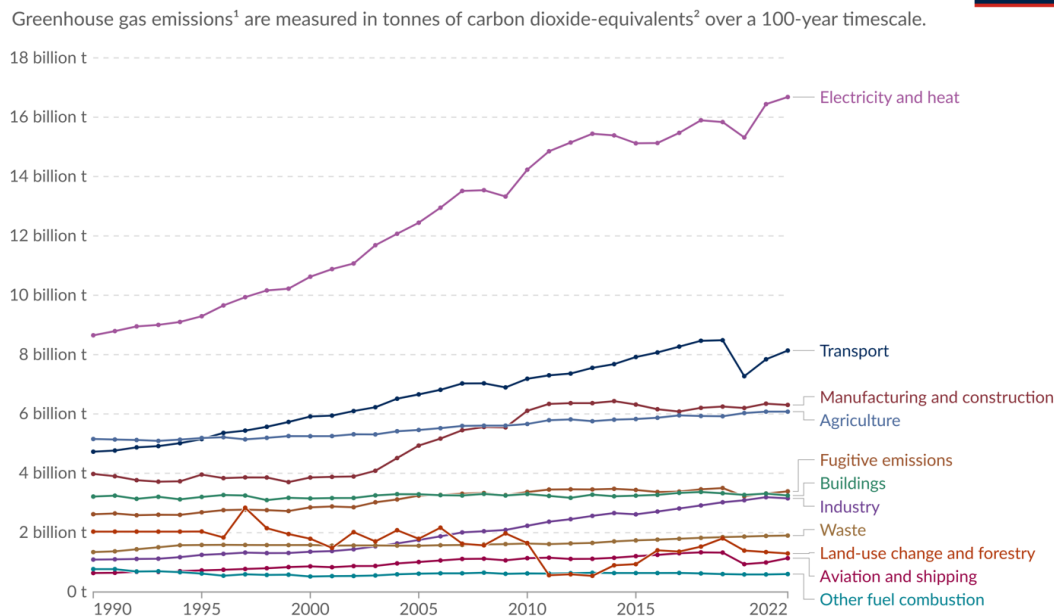
3 Mensurando Impactos Climáticos

3.1 As responsabilidades setoriais das emissões de gases do efeito estufa

Tendo em vista as concepções teóricas a respeito do desenvolvimento econômico dissociado do limite ambiental, é possível notar, através de dados práticos, que a principal parcela das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil e no mundo provém de setores produtivos como energia, transporte, construção e agropecuária, torna-se imprescindível repensar os modelos tradicionais de expansão econômica. O padrão vigente, historicamente baseado na exploração intensiva de recursos naturais e na queima de combustíveis fósseis, mostra-se insustentável diante dos limites ambientais do planeta e dos compromissos climáticos assumidos internacionalmente.

Por exemplo, a figura 1 demonstra que no ano de 2022 a parte de Aquecimento e Eletricidade emitiu cerca de 32% do total global de gases de efeito estufa emitido naquele ano; em seguida está o setor de Transportes com cerca de 15%; e o terceiro maior, a área de Manufatura e Construção com aproximadamente 11%. Em conformidade com essa visão, 2021 registrou que aproximadamente 76% das emissões globais de GEEs vieram dos setores de energia, o que inclui eletricidade, transporte, indústria da transformação e construção e edifícios, segundo World Resources Institute (WRI, 2021)

Figura 1 - Emissão de Gases do Efeito Estufa medido em Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente

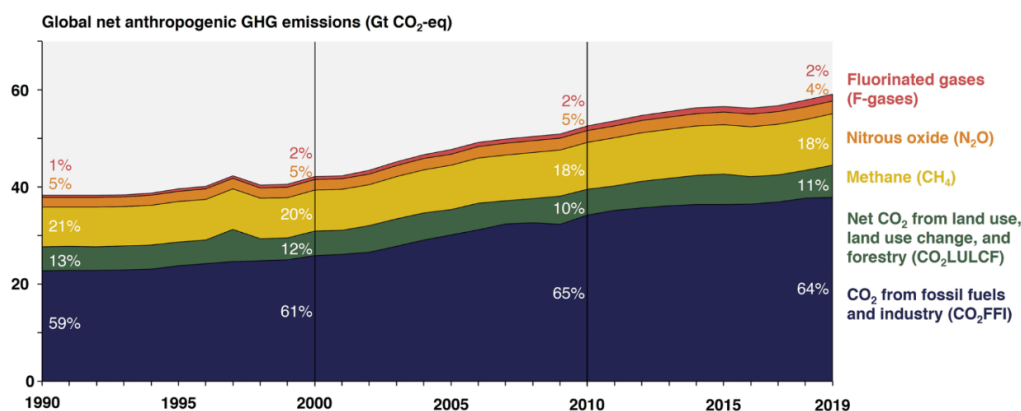


Fonte: Ritchie; Rosado; Roser (2023)

Seguindo a análise, a figura 2 ilustra a emissão expressiva do gás carbônico, em relação aos outros principais gases do efeito estufa, no ano de 2019. Cerca de 64% das emissões totais são oriundas da combustão de combustíveis fósseis e da Indústria. Esse panorama reforça, portanto, a conexão entre o modelo produtivo de desenvolvimento e aquecimento global.

Além disso, o dado reforça a interconexão entre o modelo produtivo baseado na expansão industrial e no consumo intensivo de energia e o agravamento do aquecimento global. A permanência dessa lógica de desenvolvimento, tende a perpetuar o desequilíbrio climático, ampliando os riscos socioambientais. Nesse sentido, a análise das emissões setoriais torna-se essencial para compreender os desafios da transição para uma economia de baixo carbono e a necessidade de reformular as bases produtivas em direção a um crescimento sustentável.

Figura 2 - Net das Emissões Globais por tipo de gás e setor. Valor medido em Gigatonelada de Dióxido de Carbono Equivalente



Fonte: Scientific and Technical Advisory Panel (2015), adaptado de Sims, Gorsevski e Anenberg (2015).

3.2 Os impactos climáticos e suas múltiplas dimensões

A fim de dimensionar a escala em que o aquecimento global está e quais são seus impactos, é preciso estabelecer que o desequilíbrio climático propõe uma tendência crescente de catástrofes ambientais. Desde o início da década de 1990, a quantidade de eventos climáticos extremos, tal como ondas de calor, secas, enchentes e tempestades, duplicou, atingindo em média 213 ocorrências por ano entre 1990 e 2016 (FAO et al., 2018). Desde 2017 até 2024, cada um dos últimos oito anos estabeleceu-se um novo recorde para o conteúdo de calor do oceano. Em 2024 segundo o *Global Temperature Report* (WMO, 2025) alcançou-se um aumento de 1,15°C, sendo o segundo ano com uma média oceânica acima de 1,0 °C, superando o anterior estabelecido em 2023 por uma pequena margem, 0,05 °C. Como resultado dessa dinâmica de aquecimento as geleiras estão derretendo a um ritmo alarmante, o gelo marinho da Antártida atingiu a segunda menor extensão já registrada. Comparativamente, as últimas duas décadas (2005 - 2024) possuem taxas de crescimento do nível dos oceanos duas vezes maior do que nos anos 1960-2005 (Berkeley Earth, 2025, p. 52).

A incidência de eventos extraordinários impacta diretamente a estabilidade da rede de produção de alimentos. Ao considerar o clima como fator determinante para conceber produtividade, viabilidade, oferta e demanda de safras, resultando nas variabilidades a curto e longo prazo dos preços, principalmente em populações mais pobres e vulneráveis (Wheeler; Von Braun, 2013, p. 508). A partir da ocorrência dos desastres naturais – as secas e inundações – a produção de alimentos fica comprometida, resultando em redução na disponibilidade, trazendo impactos relevantes para os sistemas alimentares. Cerca de 25% dos impactos econômicos negativos dos desastres recaem sobre o setor agrícola, o que se torna uma ameaça à Segurança Alimentar e Nutricional (SAN). Como consequência disso, os preços dos alimentos e as temperaturas irão aumentar concomitantemente e de forma moderada até 2050, afetando negativamente a quantidade, a qualidade e a diversidade dos alimentos consumidos no mundo (Fischer; Shah; Van Velthuisen, 2002).

No ano de 2024 alimentação básica necessária para manutenção da qualidade de vida também foi um fator profundamente influenciado pelas condições ecológicas. De modo que, a redução da colheita global de cereais, em algumas regiões, como a África Austral, é o resultado de uma seca generalizada, associada às condições do El Niño. Seguindo esse contexto, oito países tiveram pelo menos 1 milhão a mais de pessoas enfrentando insegurança alimentar aguda em 2024 do que durante o máximo anual de 2023 (WMO, 2025).

Além disso, os efeitos da instabilidade de temperatura possuem um caráter interseccional ao reproduzir efeitos em níveis de intensidade diferentes para diferentes grupos de indivíduos. Isso porque comunidades em situação de pobreza elevada, enfrentam precariedade da infraestrutura e ausência de apoio técnico e financeiro aos agricultores, condição que aumenta a exposição a riscos climáticos. Assim, em eventos de desequilíbrio climáticos, onde comunidades rurais dependem da agricultura, enfrenta-se perdas imediatas de colheitas e rebanhos, o que intensifica a fome e a desnutrição, já que sua principal fonte de renda vem da produção agrícola. Dessa forma, em países com alta vulnerabilidade socioambiental, geralmente de baixa e média renda são mais impactados pelas mudanças climáticas, e mais suscetíveis a incerteza alimentar (FAO, 2017).

Desse modo, as comunidades vulneráveis globais, que sofrem com secas severas e fome, não possuem recursos financeiros para contornar os efeitos da crise climática, consequentemente esse impasse promove o deslocamento forçado dessa população. Nesse sentido, vale ressaltar que o ano de 2024 contabilizou o maior número de novos deslocamentos anuais desde 2008 em função de eventos climáticos extremos e suas consequências – destruição de casas, infraestrutura crítica, florestas, terras agrícolas e biodiversidade. (WMO, 2025).

Em um panorama maior, a partir desse ano, 2008, mais de 376 milhões de pessoas foram deslocadas por desastres naturais, com um recorde de 32,6 milhões apenas em 2022, como mostra a figura 3. Desde 2020, houve um aumento anual de 41% no número total de pessoas deslocadas devido a desastres em comparação com a década anterior. Portanto, a tendência desse aumento é alarmantemente clara (EPRS, 2021)

Figura 3 - Deslocamento Interno de pessoas por desastre Naturais



Fonte: European Parliamentary Research Service, elaborado por Sabbati, atualizado por Chahri e Macsai com dados de IDMC e World Bank (2021).

Com a desestabilização do clima como catalisador, o número de refugiados climáticos continuará a aumentar. As expectativas de que no pior cenário climático, cerca de 1,2 bilhão de



peças poderão ser deslocadas até 2050 devido a desastres naturais e outras ameaças ecológicas, segundo Institute for Economics and Peace (IEP, 2020).

A partir da assimilação do cenário catastrófico vigente fica claro que as consequências do aquecimento global provocam efeitos socioeconômicos em cadeia, por desequilibrar as condições fundamentais para a manutenção da vida. Como relatado por órgãos internacionais de pesquisa, é nítido a velocidade e proporção em que os impactos se escalonam, permitindo um vislumbre de um futuro cada vez mais hostil para vida na terra. Assim, a busca por um novo paradigma de crescimento deve integrar dimensões econômicas, sociais e ambientais, de modo a promover a prosperidade sem comprometer a estabilidade climática e os ecossistemas.

4 Acordo de Paris balanço de 2015 a 2025

4.1 A estrutura do Acordo e seus limites

Nesse contexto, o Acordo de Paris entra na dimensão internacional como o primeiro tratado de responsabilidade ambiental cuja adesão pelos países foi praticamente absoluta. Esse fato vem em contrapartida ao histórico de baixa efetividade de negociações internacionais anteriores. Em 1997 o Protocolo de Quioto estabelece metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa para países desenvolvidos. No entanto, o caráter mandatório do tratado gerou resistência entre as principais economias desenvolvidas, culminando no não comprometimento de alguns dos maiores emissores globais, como os Estados Unidos, que se recusaram a ratificá-lo sob o argumento de que as obrigações impostas poderiam prejudicar sua competitividade econômica e que países em desenvolvimento não estavam submetidos às mesmas exigências.

Em seguida na COP 15, o Acordo de Copenhagen (2009) também deixou a desejar, uma vez que, na tentativa de ampliar a participação dos países, optou-se por um formato não vinculante. Assim, sem metas claras de redução ou mecanismos de responsabilização, para se opor à baixa adesão do tratado de 1997, o novo acordo não trouxe especificidade para o cumprimento das metas. Além disso, as negociações foram marcadas por tensões entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, especialmente quanto à distribuição das responsabilidades históricas e à transferência de recursos financeiros e tecnológicos. O resultado foi um documento de intenções, sem força legal, que evidenciou a dificuldade de conciliar os diferentes interesses nacionais em torno de um compromisso climático global.

A partir da dificuldade de implementação de um tratado multilateral efetivo, foi necessário redirecionar as prioridades para que o acordo tivesse adesão. A partir disso, diferentemente das metas obrigatórias de Copenhagen e Quioto, o presente acordo focou em consolidar um esforço pautado em políticas voluntárias – sem obrigatoriedades jurídicas vinculantes em relação às metas. De fato, o Acordo de Paris contou com a assinatura de 195 países, porém pode se dizer que o número de adeptos foi em detrimento da ambição climática e da observância desses compromissos.

Diante disso, o Acordo de Paris, adotado em dezembro de 2015 pelos países – desenvolvidos e em desenvolvimento – signatários da UNFCCC, durante a COP21, se destaca por ter um caráter mais flexível e amplo. Com o intuito de conter o aumento das temperaturas globais através da redução de emissão de dióxido de carbono a partir de 2020, busca-se reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos gerados por esse desequilíbrio climático.

Dessa forma, os governos se comprometem a mensurar o aumento da temperatura média mundial “bem abaixo” dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais e a enviar esforços para limitar o aumento a 1,5°C. De forma que, os países signatários têm autonomia para desenvolver seu próprio plano de ação para reduzir as emissões através de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC).

As contribuições deverão ser elaboradas com base em uma abordagem liderada pelos próprios países, assegurando participação ampla, transparência total e atenção às questões interseccionais como gênero e às necessidades de grupos, comunidades e ecossistemas vulneráveis. Além disso, conforme disposto no Artigo 9, a adesão contempla responsabilidade aos países desenvolvidos para com países em desenvolvimento, através da obrigação de disponibilizar recursos financeiros para apoiar ações de mitigação e adaptação. Além disso, tais partes devem fornecer, a cada dois anos, informações quantitativas e qualitativas sobre esses fluxos de apoio.

Em relação às medidas de controle das metas, as avaliações de progresso para mitigação dos efeitos climáticos serão inscritas em um registro público – *Global Stocktake* – mantido pelo Secretariado. Assim, é necessário, periodicamente, a cada cinco anos, uma avaliação da implementação deste Acordo para determinar o progresso coletivo na sua consecução e seus objetivos de longo prazo. Isso através do registro das emissões e remoções antrópicas correspondentes às suas contribuições nacionalmente determinadas. Além de fornecer informações relacionadas aos impactos e à adaptação à mudança do clima.

Individualmente, as NDCs, como afirma o Artigo 4.11, podem ser revisadas a qualquer tempo, desde que para “aumentar o seu nível de ambição”, porém, à luz das diferentes circunstâncias nacionais – como é mencionado em mais de um artigo, ao longo do documento.

As Partes países em desenvolvimento deverão continuar a fortalecer seus esforços de mitigação, e são encorajadas a progressivamente transitar para metas de redução ou de limitação de emissões para o conjunto da economia, à luz das diferentes circunstâncias nacionais (Acordo de Paris, 2015, Art. 4.4)

Nessa lógica, define-se o conceito de ambição climática, ao determinar que a cada revisão das NDCs deva existir um avanço em relação às contribuições vigentes, de forma a atingir a mais alta ambição possível, desde que considere o contexto e capacidades econômicas de cada Parte. A partir dessa estruturação é permitido que haja uma dissonância entre ciência e política. Isso porque, levando em conta a diferença de atitudes frente ao que deve ser de fato realizado pensando em termos científicos, para conter a emergência climática, e aquilo que os governos nacionais estão dispostos a propor, considerando seus interesses estratégicos.

Especialmente, uma vez que, o acordo formula um entendimento vago sobre cada contribuição. Ao mesmo tempo que é claro o objetivo de conter o aquecimento global abaixo dos 2°C e aumentar a capacidade de adaptação às mudanças climáticas através do crescimento sustentável e justo; ainda assim, não se expressa materialidade jurídica vinculante aos países. Relata-se que devem ser feitos esforços ambiciosos, mas sem explicitação acerca deles.

Logo, a falta de clareza disposta no documento, referente a determinação das ambições para conter a crise ambiental viabiliza esse cenário de dissonância. Segundo o advogado ambientalista Alexander Zahar, existem duas noções diferentes entre a ambição estatal, *S-ambition*, e a ambição do tratado, *T-ambition*. De forma que, a ambição expressada pelo Estado

– S-ambition – seria o plano de mitigação definido sob o Acordo de Paris, cujas estratégias de ação não são necessariamente efetivas e justas dentro da lógica do Acordo, mas sim o que o Estado considera aceitável dentro de seus interesses, sejam políticos ou econômicos. (Zahar, 2020)

The term ‘highest possible ambition’ in Article 4.3 of the Paris Agreement denotes whichever ambition a state decides for itself is its highest possible ambition: the treaty does not define this term and does not provide for any process to reveal, rationalize, debate, standardize, or otherwise inform the determination of a state’s ambition. (Zahar, 2020, p. 5)

Por outro lado, o conceito de *T-ambition* seria a ambição presente no tratado refletindo a promessa do Estado frente ao acordo. Essa em tese, prevê as contribuições substanciais, contudo, como o próprio artigo dispõe, as metas são coletivas e não direcionadas individualmente para cada parte. Dessa forma, esse fator permite que não haja implicações diretas de punição em caso de não cumprimento da meta

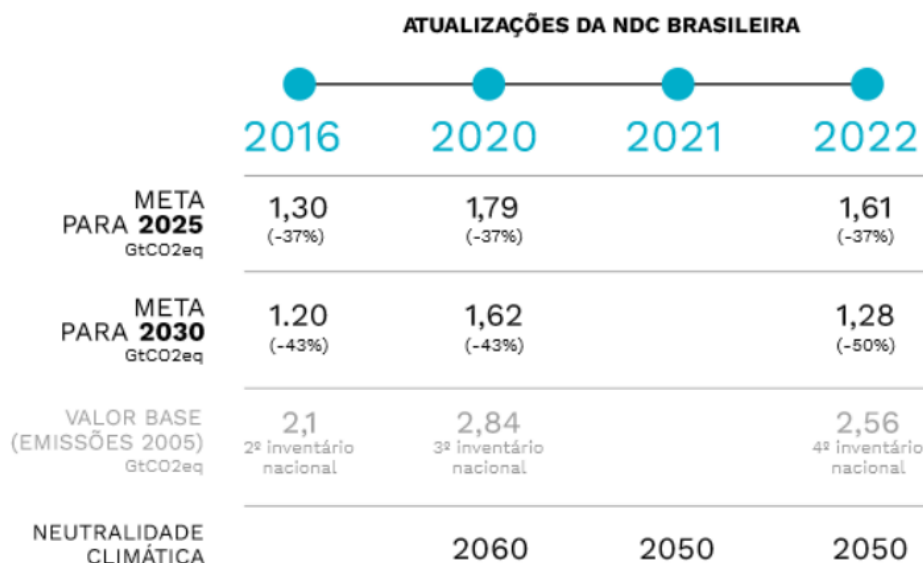
Portanto, evidencia-se uma dualidade inerente ao Acordo. Por um lado, há um objetivo central bem definido de redução do aquecimento global e uma adesão praticamente universal dos países signatários. Por outro, não há a definição de obrigações claras e individualizadas, mas sim compromissos expressos de forma ampla e genérica, com metas mensuráveis de maneira vaga a partir de contextos regionais.

4.2 O percurso das NDCs brasileiras, entre a ambição declarada e a execução limitada

A fim de discutir essa questão, é pertinente considerar o caso brasileiro e a trajetória do país em relação às suas estratégias de mitigação ao longo dos dez anos que se seguiram à adoção do Acordo de Paris, entre 2015 e 2025. Nesse período, o Brasil se comprometeu, por meio de suas NDCs, a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, estabelecendo metas setoriais e políticas voltadas à transição para uma economia de baixo carbono. A análise desse intervalo permite compreender o grau de cumprimento do que foi proposto. Uma vez que, ao longo desse período, o Brasil dispõe de 3 atualizações oficiais submetidas à UNFCCC. Assim, a partir do exame da experiência brasileira, é possível compreender que a meta inicial sofreu mudanças, atrasos e foi marcada por contradições entre crescimento econômico, preservação ambiental e inclusão social.

A primeira NDC do Brasil, submetida à UNFCCC em 2016, apresentou como objetivo final reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e 43% em 2030, em relação aos níveis de emissões estimados para 2005, estabelecidos pelo primeiro inventário nacional em 2,1 gigatoneladas de carbono equivalente (Gt CO₂eq). Dessa forma, contabiliza-se emissões máximas de 1,30 Gt CO₂eq em 2025, e 1,20 Gt CO₂eq em 2030. Além disso, foi implementado o plano nacional de adaptação que propõe metas de desenvolvimento de ações setoriais de mitigação, como fim do desmatamento ilegal em 2030 e recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas. Em contrapartida, em dezembro de 2020, antes da Cúpula dos Líderes convocada pelo Reino Unido, o Brasil modificou algumas premissas da NDC original. Essa revisão alterou a base técnica de 2005, saindo de 2,1 GtCO₂eq para 2,84 GtCO₂eq. Assim foi viabilizado o aumento das emissões futuras na ordem de 488 milhões de toneladas em 2030.

Figura 4 - Atualizações da NDC Brasileira



Fonte: Talanoa (2022).

Diante disso, esse descompromisso com a preservação ambiental tem consequências profundas na eficiência do plano de ação pensando em atingir a neutralidade climática indicativa (zero emissões líquidas) em um futuro próximo. Além disso, o Brasil não internalizou de maneira vinculante os compromissos assumidos na COP 26 quanto a reduzir em 30% as emissões de metano até o fim da década, deixando assim ainda mais vago o comprometimento da redução. Na mesma linha de ausência, não foi contribuído para a implementação do Pacto Climático de Glasgow, um esforço internacional das Partes para aumentar, com urgência, a ambição de suas metas de curto prazo, antes da COP 27, em 2022.

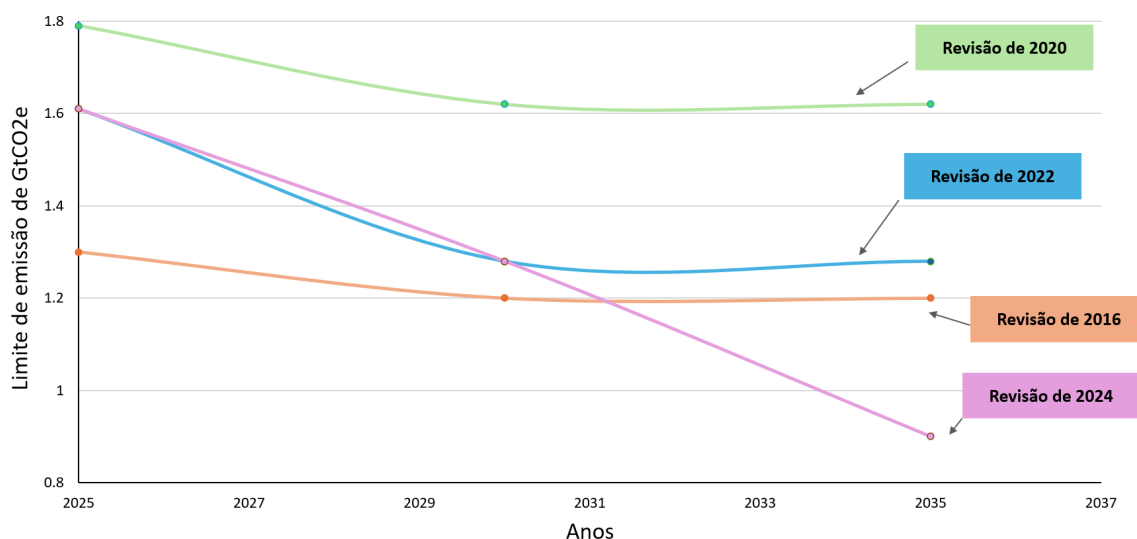
Dessa maneira, a atualização de 2021 foi considerada uma “pedalada climática” resultando na sua alteração em 2022 através do Adendo durante a COP 26. Dessa forma a nova atualização aumenta a meta de 2030 para 50% e considerando valor base de 2005 como 2,56 Gt CO₂ eq. Em termos absolutos é possível emitir mais 314 milhões de toneladas de carbono equivalente (TCO₂eq) em 2025 e 81 milhões de TCO₂eq em 2030 em relação ao que era disposto na NDC original de 2016. Comparativamente o aumento em relação a 2025, supera as emissões anuais totais da Polônia, e o volume adicional de carbono permitido para 2030 é equivalente a 1 ano de emissões do nosso país vizinho, a Colômbia, com seus quase 51 milhões de habitantes (Our World in Data, 2025).

A revisão mais recente da NDC foi publicada em 2024, propondo estender as metas e representar maiores esforços de mitigação de impactos do aquecimento global. A proposta determina o compromisso de uma redução de 59% a 67% de 2035 sobre as emissões líquidas de gases-estufa no país em comparação aos níveis de 2005. Porém, ainda existem algumas lacunas a respeito de sua eficácia. A meta está em um intervalo que vai de razoável a insuficiente, se considerar uma redução de apenas 59% até 2035 é uma contribuição aquém do necessário para o mesmo objetivo (WRI Brasil, 2025). Isso representa uma redução de 1,51 a 1,71 Gt CO₂e, de acordo com os valores relativos à emissão de 2005 (2.56 Gt CO₂e). Assim,

a nova proposta permite que sejam emitidos entre 850 milhões e 1,05 bilhão de toneladas de CO₂ equivalentes.

Em síntese, ao comparar com o valor máximo de emissões da primeira NDC (2016) pode se observar uma expectativa de redução mais rigorosa. Inicialmente, como mostra a figura 5 a proposta visava atingir 1,32 Gt CO₂e em 2025 e 1,2 Gt CO₂e em 2030, representando uma redução de aproximadamente 100 milhões de tCO₂ ao longo de cinco anos. A nova perspectiva planeja em um mesmo período reduzir as emissões em um intervalo que varia de 150 milhões de tCO₂e a 350 milhões de tCO₂e. Esse cenário representa em média um aumento em 150% do potencial de descarbonização proposto em 2016. No entanto, se a base de cálculo meta inicial tivesse sido mantida a 2.1 Gt CO₂e a meta proposta pela NDC de 2024 permitirá alcançar em média uma emissão total de 0.77 Gt CO₂ em 2035 – valor que corresponde a 20% a mais do que a proposta atual. Portanto, seria possível elevar o potencial de descarbonização considerando as premissas base da primeira publicação da Contribuições Brasileiras em 2016.

Figura 5 - Total de emissão de Gt CO₂e por ano permitido a cada atualização da NDC



Fonte: Elaboração própria com bases nos dados do Política por Inteiro (2022)

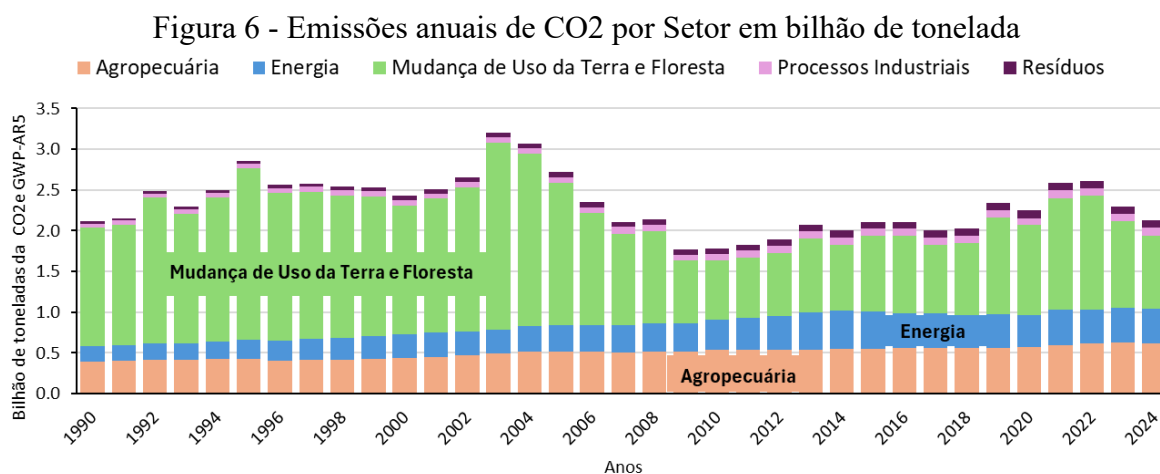
De modo geral, é possível notar que a trajetória das metas se manteve inconsistente dentre o processo de implantação de 2015 a 2025. A partir da alteração em dados históricos referentes ao volume emitido de CO₂ em 2005, impactou-se a ambição climática e não houve um ajuste correspondente a isso. À vista desse cenário, em 2022 o Brasil constava no rol de países, junto da Austrália, Japão, México e Indonésia, que ainda não estavam alinhados com a ambição do Acordo de Paris (Climate Action Tracker, 2025). Além disso, é notável a forma com que a curva se comporta a partir da última atualização da NDC, demonstrando uma queda significativa nos níveis de emissão de carbono.

À vista desse cenário, torna-se fundamental compreender a realidade setorial brasileira, uma vez que as dinâmicas produtivas e ambientais do país apresentam características próprias que influenciam diretamente suas emissões de gases de efeito estufa. É necessário, portanto, identificar os principais setores responsáveis pela degradação ambiental, a fim de mensurar os

efeitos das políticas das mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, o Brasil possui um conjunto singular de potencialidades para a mitigação dos impactos ambientais, seja por sua matriz energética relativamente limpa, pela vasta disponibilidade de recursos naturais renováveis, ou pela capacidade de expansão de biocombustíveis e bioenergia. Assim, compreender essas particularidades é essencial para delinear estratégias de transição que conciliam desenvolvimento econômico, redução de emissões e preservação ambiental.

4.3 Impactos setoriais, peculiaridades e vantagens brasileiras

A partir disso, os principais desafios a nível nacional para o combate das emissões, estão ligados ao desmatamento. Isso porque historicamente a degradação da terra na Amazônia segue sendo o principal responsável pela elevação das emissões de gases do efeito estufa no Brasil. A expressividade do setor, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF, na sigla em inglês) nas emissões totais de carbono vem diminuindo com o tempo. Os dados de 1990 registram cerca de 69% das emissões totais provenientes do desmatamento, totalizando cerca de 1.4 bilhões de toneladas de carbono equivalente. Diante desse cenário é inegável que esse segmento é responsável pela parcela mais expressiva de gases do efeito estufa no Brasil. Como explícito na figura 6, desde a década de 1990 até 2024, LULUCF nunca deixou de ser o maior contribuinte para o aquecimento global. Em média são emitidos cerca 1.3 bilhões de toneladas de carbono e emitidos por ano, e uma representação de 57% do total das emissões de todos os principais setores.



Fonte: Elaboração própria com bases nos dados históricos do SEEG |Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

Os dados oficiais mais recentes publicados em fevereiro de 2025 no Relatório Bial de Transparência (BTR1) - documento que detalha as ações e o progresso do país em mitigação e adaptação às mudanças climáticas - mostram que o Brasil emitiu 2 Gt CO₂e em 2022. Além disso, cerca de 70% das emissões de gases de efeito estufa no Brasil derivam da exploração da terra, dos quais 39,5% estavam associados ao desmatamento e à conversão de terras. No ano seguinte, em 2023, esse setor representou cerca de 1,05 bilhões de TCO₂e, exatamente o teto de emissões previsto na meta para 2035. Para dimensionar a influência desse setor nos impactos ambientais, seria possível limitar a emissão em 505 MtCO₂eq no ano de 2035, ou seja, ultrapassar a meta proposta, se a partir de 2030 o desmatamento em todos os biomas fosse

eliminado e todo passivo ambiental, de 21 milhões de hectares do país fosse recuperado. Representando assim um grande potencial de descarbonização do setor (Observatório do Clima, 2024).

Após LULUCF, outro setor que se destaca no perfil brasileiro de emissões é o de Energia, que corresponde a gases de efeito estufa provenientes do uso ou da produção de combustíveis. Assim, é possível observar um aumento em 114% de 1990 a 2010, passando de 10% das emissões brasileiras do início da década de 1990 para 19% dessas emissões em 2019. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 revela que existe uma tendência de aumento das emissões no setor de Energia. Com o aumento da demanda, essa expansão se deve por conta do aprimoramento da infraestrutura e a evolução tecnológica (EPE, 2024).

Assim, as projeções indicam um aumento de emissões de aproximadamente 20% ao longo de 10 anos, passando de 458 milhões de toneladas de carbono equivalente (MtCO₂e) em 2024, para 543 MtCO₂e em 2034 (PDE 2034). Um aumento significativo dado que nos últimos 10 anos o setor de energia reduziu sua participação em 12% no total de emissões de GEE. Dessa forma, essa tendência é importante e positiva no futuro, principalmente em um cenário desejável em que o Brasil volte a diminuir, chegando a zerar, suas emissões por desmatamento.

Diante dos dados apresentados, observa-se que o principal desafio do Brasil na redução das emissões de gases de efeito estufa permanece concentrado no setor de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (LULUCF), cuja contribuição histórica para o aquecimento global ainda é determinante. Apesar de uma redução relativa ao longo das décadas, o desmatamento continua sendo a principal fonte emissora do país. Assim, o combate ao desmatamento, aliado à transição energética, constitui o eixo central para que o Brasil seja capaz de atingir suas metas de redução das emissões de GEE. Levando em conta os níveis anteriores de emissões é preciso um plano de adaptação estratégico e respeitado rigorosamente para direcionar a trajetória de emissões que o Brasil almeja.

4.4 As perspectivas futuras das políticas de combate ao aquecimento global

O Brasil é um país de vasta abundância de matérias primas essenciais para conduzir a produção de energia de baixa emissão de carbono. Isso através da disponibilidade de recursos naturais – hídricos, solar e eólico – além de contar com resíduos do setor agropecuário para geração de energia a partir da biomassa. Nesse sentido, os biocombustíveis ganham destaque na produção de uma energia mais limpa. O Estado Brasileiro apostou nos biocombustíveis como uma das principais medidas para a diminuição de GEEs. De modo que o Brasil ocupa posição de líder mundial em biocombustíveis. A partir de geração de cerca de 25% da produção global de etanol (35 bilhões de litros/ano), contando com capacidade instalada para chegar a 49 bilhões de litros (EPE, 2024)

A conjuntura dos biocombustíveis no Brasil confirma que a participação de matriz energética renovável no Brasil tem contribuído para a diminuição da emissão de GEEs (EPE, 2023). A partir dos biocombustíveis líquidos, as emissões evitadas pelo uso do etanol e biodiesel em comparação com combustíveis fósseis (gasolina e diesel) somaram 71,1 MtCO₂ em 2022. No entanto, deve-se considerar que o país vive um paradoxo climático. Isso porque atualmente o Brasil é o país que mais investe em petróleo na América Latina. Porém ao mesmo tempo, representa uma das maiores potências em bioenergia do mundo. Nos últimos dois anos,

o governo aprovou investimentos recordes na exploração de petróleo no pré-sal — mais de R\$500 bilhões até 2029, concomitantemente ocorriam discursos de transição energética (Brazil Journal, 2025).

Essa postura vai contra o que o Brasil apresenta em âmbito internacional. Uma vez que, em 2023 na COP 28, em Dubai, 200 países (incluindo o Brasil) assinaram um acordo histórico para gradativamente reduzir a produção de combustíveis fósseis. A partir disso seria esperado que o Brasil se inserisse na lógica do "*phase out*" de petróleo. Contudo, observa-se investimentos expressivos e contínuos aplicados na exploração na matriz de combustível fóssil, como as recentes descobertas de poços de petróleo na foz do rio Amazonas. Dado o contexto, frente a COP 30, em novembro de 2025, essa dicotomia ganha ainda mais destaque, uma vez que para o cenário ser compatível com a limitação do aquecimento global a níveis seguros, o pico das emissões de gases de efeito estufa deveriam ocorrer até, no máximo, o início de 2025 (IPCC, 2022).

A recente aprovação do licenciamento ambiental para exploração do petróleo da Margem Equatorial, mostra os rumos do Brasil desse cenário. Especialmente, é importante ressaltar que a reformulação aprovada em agosto de 2025 da Lei Geral do Licenciamento Ambiental (Lei nº 15.190), concede isenção para projetos de caráter militar, através da Licença Ambiental Especial (LAE). Essa medida visa agilizar o licenciamento de “empreendimentos estratégicos”. O processo de licenciamento da margem equatorial, já acontecia antes da nova lei, portanto este se deu nos padrões tradicionais de licenciamento. Porém, futuramente, a LAE permite que projetos na mesma escala da margem equatorial possam ser aprovados com mais facilidade por se encaixarem no crivo de estratégia para segurança nacional.

Dessa forma é nítido como o Brasil passa a securitizar a pauta energética. No sentido que, o conceito central de securitização, representa um fenômeno social capaz de criar uma nova realidade a partir do discurso político, cujo tom relata possibilidade de ameaça, inimigo, perigo, destruição e invasão. Assim é possível, tratar certas agendas com maior urgência em detrimento de outras e por consequência viabilizar medidas extraordinárias de combate dessa ameaça (Buzan; Waever; Wilde, 1998). Como presenciado na reformulação da Lei nº 15.190 passa-se a considerar Energia como uma questão militar e contemplar medidas excepcionais. Assim possibilita-se expandir o campo da segurança para além do militar. Importante ressaltar que não se trata, portanto, de um assunto que não seja, de fato importante, porém a securitização através do discurso político constrói uma realidade que funciona como pretexto para adoção de determinadas agendas políticas em nome da segurança.

Esse discurso se dá especialmente em contexto de países em desenvolvimento como o Brasil. Ao declarar que existe um impasse quanto a transição energética a qualquer custo. Isso porque, defende-se que a diminuição e eventual encerramento das explorações de petróleo, prejudicaria o país por perder a oportunidade de monetizar suas reservas enquanto outros continuam a explorar seus recursos. Então, torna-se arriscado optar por fragilizar sua economia e se tornar um ator dependente economicamente. Partindo desse pressuposto, a securitização da pauta energética permite garantir que as reservas de petróleo se tornem um tema de maior urgência em comparação à mitigação do aquecimento global.

O Brasil baseia-se na ideia de que a exploração do petróleo é crucial para financiar a transição energética. Partindo da noção de transição energética justa, deve ser um processo não impositivo, mas sim economicamente viável, e para isso é preciso ter disponibilidade de

recursos financeiros. Contudo essa narrativa, não se sustenta por inteiro. À medida que o Brasil não possui um tipo de fundo financeiro que interliga a receita do petróleo com investimentos em energia de matriz limpa. Ao contrário do que se propõe, o direcionamento de capital para continuar a exploração de petróleo, apenas aprofunda a dependência no combustível fóssil e atrasa o progresso que poderia ser feito em métodos alternativos de suprimento energético (Financial Times, 2025).

A dimensão fiscal dessa escolha ajuda a explicar sua persistência. Em 2024, o petróleo bruto respondeu por 13,3% do valor total exportado pelo Brasil, superando a soja como principal produto da pauta (MDIC, 2025), e cerca de 71,5% da produção nacional de petróleo foi extraída dos campos do pré-sal (ANP, 2025). Apenas a comercialização direta da parcela da União no pré-sal, operada pela Pré-Sal Petróleo S.A., rendeu R\$ 10,32 bilhões em 2024 e as projeções oficiais indicam arrecadação total entre R\$ 1,05 trilhão e R\$ 1,32 trilhão para a União entre 2026 e 2035 (PPSA, 2025). Trata-se, portanto, de uma dependência fiscal e comercial real, uma vez que a receita do petróleo se tornou estrutural para o orçamento público e para a balança comercial brasileira.

Diante dessa dependência, abriram-se duas rotas de política. A primeira consistiria em utilizar a receita extraordinária do petróleo como fonte de financiamento da transição, vinculando parte da arrecadação a investimentos em energia limpa. A segunda, em reinvestir essa receita na expansão da própria fonte da dependência. Os fluxos de investimento indicam a opção pela segunda rota: os aportes aprovados para exploração e produção no pré-sal superam R\$ 500 bilhões até 2029, como exposto acima, o equivalente a cerca de R\$ 80 bilhões por ano, enquanto os investimentos projetados para os biocombustíveis, principal aposta declarada do país em energia limpa, somam, segundo o Ministério de Minas e Energia, entre R\$ 107 bilhões e R\$ 110 bilhões ao longo de dez anos, de 2026 a 2035, cerca de R\$ 11 bilhões anuais (MME, 2025). Mesmo reconhecendo que essa comparação não captura a totalidade dos investimentos em renováveis, como a expansão eólica e solar, a assimetria de aproximadamente sete vezes na alocação anual de capital é expressiva.

Reforça essa leitura o desenho institucional do Fundo Social do Pré-Sal: embora exista um mecanismo formal de captação das receitas da União, seus recursos são destinados prioritariamente a áreas como educação e saúde, sem vinculação à transição energética. Assim, a narrativa de que a exploração do petróleo financiaria a transição não encontra respaldo no arranjo institucional vigente. Nesse sentido, a dependência fiscal do petróleo não funciona como restrição externa à ação do Estado, mas como resultado acumulado de decisões que a aprofundam: a cada ciclo de investimento na fonte da dependência, a rota de saída torna-se mais custosa e menos provável.

Portanto, a partir disso é visível que o histórico de flexibilidade aplicado ao cumprimento das metas do Acordo de Paris, pelo Brasil, se dá em função dos interesses nacionais. Uma vez que fica claro a profunda dependência brasileira em combustíveis fósseis, seja pelo volume significativo que o petróleo assume na receita financeira do Brasil ou na expressividade dos investimentos injetados nessa matriz. Isso se reflete na prática, a partir da interferência nas trajetórias das NDCs assumidas. Assim, o discurso de transição energética a qualquer custo se contradiz, e essa dicotomia, reforça a questão central desta análise: por que o Brasil, tendo condições estruturais favoráveis, não converte esse potencial em prática climática consistente? Os dados apresentados sugerem a resposta: não por ausência de meios, mas porque

a dependência do petróleo foi sendo aprofundada por decisão, a cada escolha de alocação de receita e de investimento.

5 Considerações Finais

À luz do exposto fica evidente como processo de degradação ambiental está diretamente ligado à expansão acelerada da escala produtiva, que opera pela lógica de maximização ao desenvolvimento econômico. Em contrapartida, para que se possa associar a teoria com benefícios para a vida em sociedade, é necessário compreender a economia em diálogo com o meio ambiente. Na prática isso é reconhecer que o tamanho e a dinâmica da atividade econômica devem estar em equilíbrio com a capacidade de regeneração dos ecossistemas que a sustentam.

Em contrapartida, com base na análise das políticas brasileiras perante o Acordo de Paris pode-se perceber como os setores de energia, agropecuário e desmatamento, são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas no Brasil. Observa-se, assim, uma clara dualidade entre as ambições climáticas expressas nos compromissos internacionais e os interesses políticos e econômicos domésticos, manifestos no investimento contínuo em combustíveis fósseis e no atraso das metas de mitigação. Portanto é claro como a forma de conceber desenvolvimento considera a maximização em detrimento do equilíbrio.

O efeito disso é alarmante, à medida que se atinge marcas recordes que ameaçam diretamente a manutenção da vida no planeta. Uma vez que os impactos afetam diretamente, questões como segurança alimentar, refúgio climático e desastres ambientais. Interagindo assim com aspectos fundamentais para a manutenção da vida. Diante disso, torna-se urgente reorientar o modelo produtivo e mensurar o progresso a partir da mitigação efetiva da crise ambiental — e não apenas de indicadores econômicos tradicionais.

Contudo, a experiência brasileira entre 2015 e 2025 revela que os esforços de contenção do aquecimento global permanecem frágeis e pouco vinculantes, uma vez que o caráter não obrigatório do Acordo de Paris permite flexibilizações e retrocessos nas políticas ambientais nacionais. Essa lacuna institucional expõe a distância entre o discurso da sustentabilidade e a prática política, que ainda privilegia interesses imediatos de crescimento em detrimento da estabilidade ecológica.

Portanto, as teorias econômicas e ambientais analisadas convergem para um mesmo princípio: os limites ecológicos são inegociáveis. De modo que a estrutura econômica dissociada da natureza conduz a um avanço insustentável, que se apoia, como discutido na seção 2, na noção equivocada de que o dinheiro seria capaz de homogeneizar fatores de natureza física distinta. Portanto, é possível conceber progresso alinhado à sustentabilidade, pois essa é a única maneira de se existir desenvolvimento. Qualquer ideia de expansão econômica que não considere um teto ecológico e limite social é conceitualmente errada, pois não existe uma economia isolada da natureza. De modo geral, o verdadeiro progresso deve alinhar prosperidade e sustentabilidade, reconhecendo que o crescimento não é um fim em si mesmo, mas um meio para garantir a qualidade e a continuidade da vida. Uma vez que, sem meio ambiente, não há economia, e, sobretudo, não há futuro.



Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP).

Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural. 2025. Disponível em:

<https://www.gov.br/anp>. Acesso em: 24 jul. 2026.

BERKELEY EARTH. Global temperature report for 2024. Berkeley Earth, 10 jan. 2025. Disponível

em: <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2024/>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.190, de 8 de agosto de 2025. Dispõe sobre o licenciamento ambiental; regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal; altera as Leis nºs 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 9.985, de 18 de julho de 2000, e 6.938, de 31 de agosto de 1981; revoga dispositivos das Leis nºs 7.661, de 16 de maio de 1988, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e dá outras providências.

Diário Oficial da União: Brasília, DF, 8 ago. 2025. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/115190.htm. Acesso em: 30 ago. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Caderno de Oferta de Biocombustíveis: Plano Decenal de Expansão de Energia 2035. Brasília: MME, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2035/cadernos/pde-2035_caderno_ofertabiocombustiveis.pdf/view. Acesso em: 30 ago. 2026.

BRAZIL JOURNAL. COP30: os negócios que precificam as florestas. 4 nov. 2025. Disponível em:

<https://braziljournal.com/cop30-os-negocios-que-precificam-as-florestas/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

BUZAN, Barry; WAEVER, Ole; WILDE, Jaap de. Security analysis: conceptual apparatus. In:

BUZAN, Barry; WAEVER, Ole; WILDE, Jaap de. Security: a new framework for analysis. Colorado: Lynne Rienner Publishers, 1998. p. 21–48.

CLIMATE ACTION TRACKER. Brazil: policies and action. 2025. Disponível em:

<https://climateactiontracker.org/countries/brazil/policies-action/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CLIMATE WATCH. Historical GHG emissions. Washington, DC: World Resources Institute, 2026.

Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/>. Acesso em: 27 set. 2026.

DALY, H. E. Toward some operational principles of sustainable development. Ecological Economics, Amsterdam, v. 2, p. 1–6, 1990.

DALY, Herman. Beyond Growth. San Francisco: Freeman, 1997.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2023. Rio de

Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 6 nov. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Rio

de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FINANCIAL TIMES. COP30 and the business of valuing forests. 2025. Disponível em:

<https://www.ft.com/content/f85a5c80-6a06-4883-b784-223af5467f36>. Acesso em: 6 nov. 2025.



FISCHER, G.; SHAH, M.; VAN VELTHUIZEN, H. Climate change and agricultural vulnerability: a special report prepared as a contribution to the World Summit on Sustainable Development. Laxenburg: IIASA Rep, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT (IFAD); UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF); WORLD FOOD PROGRAMME (WFP); WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). The state of food security and nutrition in the world 2018: building climate resilience for food security and nutrition. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/I9545EN/>. Acesso em: 29 set. 2025.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The Entropy Law and the Economic Process. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

INSTITUTE FOR ECONOMICS & PEACE (IEP). Ecological Threat Register 2020: Understanding Ecological Threats, Resilience and Peace. Sydney: IEP, 2020. Disponível em: https://www.economicsandpeace.org/wp-content/uploads/2020/09/ETR_2020_web-1.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais em 2019. 2020. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso em: 6 nov. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Mitigation of Climate Change, Chapter 2. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 29 set. 2025.

JACKSON, T. Prosperidade sem crescimento: vida boa em um planeta finito. São Paulo: Abril, 2013.

KUHN, Thomas S. A Estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1995.

MEADOWS, Donella H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jørgen; BEHRENS III, William W. The limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books, 1972.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (MDIC). Comex Stat: exportações brasileiras 2024. 2025. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/>. Acesso em: 24 jul. 2026.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). National Centers for Environmental Information. 2024 was warmest year in the modern record for the globe. Climate.gov, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2024-was-warmest-year-modern-record-globe>. Acesso em: 29 set. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Construindo uma potência ambiental: bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil (2030–2035). v. 3. Nota Técnica. São Paulo: Observatório do Clima, ago. 2024. Disponível em: https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/08/NDC_2024-Versao-Final-v6.pdf. Acesso em: 30 ago. 2026.



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO); ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Panorama da segurança alimentar e nutricional na América Latina e Caribe: sistemas alimentares sustentáveis para acabar com a fome e a má nutrição. Santiago: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I7695e/I7695e.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

OUR WORLD IN DATA. Poland: CO₂ and Greenhouse Gas Emissions Country Profile. 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/profile/co2/poland>. Acesso em: 6 nov. 2025.

PRÉ-SAL PETRÓLEO S.A. (PPSA). Resultados da comercialização de petróleo e gás natural da União: 2024. 2025. Disponível em: <https://www.presalpetroleo.gov.br/>. Acesso em: 24 jul. 2026.

RAWORTH, Kate. Doughnut Economics: seven ways to think like a 21st-century economist. London: Random House Business, 2017.

RITCHIE, Hannah; ROSADO, Pablo; ROSER, Max. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Our World in Data, 2023. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/ghg-emissions-by-sector>. Acesso em: 31 ago. 2026.

ROMEIRO, Ademar R. Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, Peter; LUSTOSA, Maria Cecília; VINHA, Valéria da (org.). Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: EcoEco & Editora Campus, 2003. p. 1–29.

SABBATI, Giulio. Internal displacement of people due to natural disasters [gráfico]. Atualizado por Samy Chahri e Gyorgyi Macsai. In: APAP, Joanna; DU PERRON DE REVEL, Capucine. The concept of 'climate refugee': towards a possible definition. Briefing PE 698.753. Bruxelas: European Parliamentary Research Service (EPRS), 2021. Dados de: Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC, 2021); World Bank, World Development Indicators (2021). Disponível em: <https://i0.wp.com/epthinktank.eu/wp-content/uploads/2021/10/Internal-displacement-of-people-due-to-natural-disasters.png?ssl=1>. Acesso em: 31 ago. 2026.

SACHS, I. Revisiting Development in the Twenty-First Century. International Journal of Political Economy, v. 38, n. 3, p. 5–21, 2009.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Emissões brasileiras de GEE. 2025. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SEN, A. Desenvolvimento como liberdade. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SIMS, R. E. H.; GORSEVSKI, V.; ANENBERG, S. Black carbon mitigation and the role of the global environment facility. STAP advisory document, 2015.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Brazil First NDC 2023 adjustment. 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-11/Brazil%20First%20NDC%202023%20adjustment.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Copenhagen Accord. Copenhagen: UNFCCC, 2009. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/107.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2026.



UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). The Paris Agreement. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 6 nov. 2025.

UNTERSTELL, Natalie; MARTINS, Nathália. NDC do Brasil: avaliação da atualização submetida à UNFCCC em 2022. Nota Técnica. Rio de Janeiro: TALANOIA, 2022. Disponível em: https://www.politicaporinteiro.org/wp-content/uploads/2022/04/Analise-NDC-2022_V0.pdf. Acesso em: 6 nov. 2025.

VEIGA, J. E. D.; CECHIN, A. D. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. Revista de Economia Política, v. 30, n. 3, p. 438–454, jul./set. 2010.

WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate change impacts on global food security. Science, v. 341, n. 6145, p. 508–513, 2013.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of the Global Climate 2024. Genebra: WMO, 2025. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2024>. Acesso em: 29 set. 2025.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). This interactive chart shows changes in the world's top 10 emitters. 29 dez. 2021. Atualizado em: 2 mar. 2023. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>. Acesso em: 27 set. 2026.

WRI BRASIL. Nova NDC do Brasil: o que a meta revela sobre a transição da economia. 11 abr. 2025. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/nova-ndc-do-brasil-o-que-meta-revela-sobre-transicao-da-economia>. Acesso em: 6 nov. 2025.

ZAHAR, Alexander. Collective obligation and individual ambition in the Paris Agreement. Transnational Environmental Law, v. 9, n. 1, p. 165–188, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S2047102519000281>.