

REN Revista Econômica do Nordeste

2

Volume 57 | N° 02 | Abril-Junho de 2026

ISSN impressa 0100-4956

ISSN eletrônica (on line) 2357-9226



REN Revista
Econômica
do Nordeste

REN Revista Econômica do Nordeste

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL

Presidente:

Wanger Antônio de Alencar Rocha

Diretores:

Ana Teresa Barbosa de Carvalho | Raimundo Vandir Farias Júnior | Wanger Antônio de Alencar Rocha | José Aldemir Freire | Leonardo Victor Dantas da Cruz | Antônio Jorge Pontes Guimarães Júnior

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE – ETENE

Gerente

Dr. Allisson David de Oliveira Martins

Revista Econômica do Nordeste – REN

Editor-Chefe:

Dr. Rogério Sobreira Bezerra

Editores Científicos:

Prof. Joacir Rufino de Aquino, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Dr. Alcido Elenor Wander, Embrapa Arroz e Feijão
Prof. Alexandre Florindo Alves, Universidade Estadual de Maringá
Dra Ana Flávia Machado, Universidade Federal de Minas Gerais
Dr Cícero Pêrcles de Oliveira Carvalho, Universidade Federal de Alagoas
Profa. Francesca Bettio, Università di Siena
Dr Gil Célio de Castro Cardoso, Universidade de Brasília

Editor Executivo:

Luciano Feijão Ximenes

Jornalista Responsável:

Deyse Lene Santos de Moura

Comitê Editorial:

Dr. Airon Saboya Valente Junior, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil
Dr. Fernando Luiz Emerenciano Viana, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil
Dr. Francisco Diniz Bezerra, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil
Dr. Leonardo Dias Lima, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil
Dr. Luciano Feijão Ximenes, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil
Dr. Luiz Fernando Gonçalves Viana, Banco do Nordeste do Brasil, Brasil
Dr. Rogério Sobreira Bezerra, Banco do Nordeste do Brasil S/A, Brasil

Revisão Vernacular:

Fernanda Karine Cordeiro Lima

Projeto Gráfico:

Gustavo Bezerra Carvalho

Conselho Editorial

Prof. Alexandre Alves Porsse
Universidade Federal do Paraná - UFPR, Brasil
Profa. Ana Paula Macedo de Avellar
Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Brasil
Prof. Augusto Mussi Alvim
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Brasil
Prof. Carlos Roberto Azzoni
Universidade de São Paulo - FEA/USP, Brasil
Profa. Carmem Aparecida do Valle Costa Feijó
Universidade Federal Fluminense - UFF, Brasil
Profa. Cassia Kely Favoretto Costa
Universidade Estadual de Maringá - UEM, Brasil
Dr. Guilherme Mendes Resende
Conselho Administrativo de Defesa Econômica - CADE, Brasil
Prof. Leonardo Bornacki de Mattos
Universidade Federal de Viçosa - UFV, Brasil
Prof. Livio Andrade Wanderley
Universidade Federal da Bahia - UFBA, Brasil
Prof. Jaylson Jair da Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Brasil
Prof. Joaquim Bento de Sousa Ferreira Filho
Universidade de São Paulo - Esalq/USP, Brasil
Prof. José Angelo Costa do Amor Divino
Universidade Católica de Brasília - UCB, Brasil
Prof. Luciano Dias Losekann
Universidade Federal Fluminense - UFF, Brasil
Prof. Ricardo Antonio de Castro Pereira
Universidade Federal do Ceará - UFC, Brasil
Prof. Ricardo Dathein
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Brasil
Profa. Tatiane Almeida de Menezes
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Brasil
Prof. Tomaz Ponce Dentinho
Universidade dos Açores/GDRS-APDR, Portugal

Responsabilidade e reprodução:

Os artigos publicados na Revista Econômica do Nordeste – REN são de inteira responsabilidade de seus autores. Os conceitos neles emitidos não representam, necessariamente, pontos de vista do Banco do Nordeste do Brasil S.A. Permite-se a reprodução parcial ou total dos artigos da REN, desde que seja mencionada a fonte.

Endereço para correspondência

ETENE, Av. Silas Munguba, 5.700, bloco A2 térreo, Passaré, CEP: 60.743-902, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: (85) 3251.5544, 3299.5544, 3299.3034. ren@bnb.gov.br

Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme a Lei Nº 10.994
de 14 de dezembro de 2004

Revista Econômica do Nordeste, v. 57, n. 2, abr./jun., 2026 – Fortaleza: Banco do
Nordeste do Brasil, 2025.

v. 57: il.; 28 cm.

Trimestral

Primeiro título a partir de julho de 1969, sendo que, de julho de 1969 a janeiro de
1973, o título do periódico era Revista Econômica.

Sumários em português e inglês.

ISSN 0100-4956 (impressa)

ISSN 2357-9226 (eletrônica)

1. Economia – Desenvolvimento Regional – Brasil. I. Banco do Nordeste do Brasil,
Fortaleza, CE.

CDD 330

SUMÁRIO

VENTOS DE MUDANÇA: AVALIANDO O IMPACTO ECONÔMICO DOS PARQUES EÓLICOS NOS MUNICÍPIOS DO NORDESTE BRASILEIRO.....	8
Winds of change: assessing the economic impact of wind farms in municipalities of Northeastern Brazil	8
RENEGOCIAÇÃO E ARBITRAGEM NO SETOR DE INFRAESTRUTURA: EVIDÊNCIAS DAS CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS NO BRASIL	28
Renegotiation and arbitration in the infrastructure sector: evidence from federal highway concessions in Brazil.....	28
EXPORTAÇÕES DE BANANA E UVA NO NORDESTE BRASILEIRO: DETERMINANTES DE 1997 A 2021	47
Banana and grape exports in Northeastern Brazil: Determinants from 1997 to 2021.....	47
VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO DIRETA E CONVECÇÃO FORÇADA PARA DESIDRATAÇÃO DA CULTIVAR “BRS VITÓRIA” PRODUZIDA NO VALE DO SÃO FRANCISCO.....	67
Economic viability of a solar dryer with direct exposure and forced convection for dehydrating the “BRS Vitória” cultivar produced in the São Francisco Valley.....	67
FEIRAS ORGÂNICAS E AGROECOLÓGICAS SOB A DIMENSÃO DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS (ARS).....	84
Organic and agroecological fairs from the perspective of Social Network Analysis (SNA).....	84
DINÂMICA DAS EMISSÕES MUNICIPAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO PARÁ (2000 A 2019)	103
Municipal Greenhouse Gas Emissions dynamics in Pará, Brazil (2000–2019).....	103
O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA E A PRODUÇÃO INDUSTRIAL NOS ESTADOS BRASILEIROS: EVIDÊNCIAS PARA O PERÍODO 2003-2019	117
The cost of electricity and industrial production in Brazilian states: evidence for the period 2003-2019.....	117
SOLAR-ENERGY-BASED TECHNOLOGIES FOR FAMILY AGROINDUSTRIES: APPLICATIONS BEYOND NATURAL PROCESSES IN PIAUÍ, BRAZIL	135
Tecnologias com energia solar para agroindústrias familiares: aplicações além dos processos naturais no Piauí-Brasil.....	135
O IMPACTO DO PROGRAMA NACIONAL DE FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR NA RENDA DOS PRODUTORES DE COCO NO VALE DO CURU, CEARÁ.....	151
The Impact of the National Program for Strengthening Family Farming on the coconut producers’ income in Vale do Curu, Ceará	151
EFICIÊNCIA TÉCNICA E DESAFIOS NO SANEAMENTO BÁSICO DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DEA (2015-2019)	169
Technical Efficiency and Challenges in Sanitation in the Brazilian Northeast: A DEA Analysis (2015-2019).....	169

EDITORIAL

No contexto marcado por conflitos geopolíticos e pela elevada volatilidade financeira, a REN reafirma seu compromisso com a promoção de um debate qualificado sobre o desenvolvimento sustentável, socialmente justo e inclusivo. As tensões externas ampliam as incertezas no comércio internacional, nos preços da energia e nos fluxos de capital, ao mesmo tempo em que reforçam a centralidade de estratégias domésticas voltadas ao aumento da produtividade, à inovação, à transição energética e ao fortalecimento do mercado interno.

No Brasil, os indicadores recentes sinalizam relativa resiliência macroeconômica. A Ata do Comitê de Política Monetária de março aponta que, embora as expectativas inflacionárias ainda estejam acima da meta, há evidências de arrefecimento gradual e do início cauteloso de um ciclo de redução da taxa Selic. Ainda assim, a política monetária permanece restritiva, diante da necessidade de convergência inflacionária. O Boletim Focus de abril projeta alta de 1,9% do PIB, inflação próxima a 4,0% e taxa de câmbio relativamente estável.

No mercado de trabalho, os dados da PNAD Contínua revelam avanços expressivos. Ao final de 2025, o Nordeste registrou taxa de desocupação de 7,1%, a menor de sua série histórica, enquanto o índice nacional recuou para 5,1%. Esse desempenho reflete não apenas a redução do desemprego, mas também a expansão da ocupação formal e da massa real de rendimentos, indicando progressos sociais relevantes e maior dinamismo da demanda regional.

Os artigos desta edição dialogam diretamente com esse cenário. Reúnem evidências sobre os efeitos das energias renováveis na renda municipal e na redução das desigualdades; análises de tecnologias ecológicas na agroindústria familiar; estudos sobre exportações agrícolas, crédito rural e renda; além de avaliações da governança ambiental, das emissões de gases de efeito estufa, da eficiência energética, do saneamento básico e dos serviços públicos. Em conjunto, os trabalhos mostram que o desenvolvimento sustentável no Nordeste resulta de políticas bem desenhadas, investimentos em infraestrutura verde, inovação institucional e valorização do capital humano.

Esta edição sustenta a visão de que o Nordeste dispõe de ativos estratégicos, trabalho, sol, vento, biodiversidade e capacidade produtiva, capazes de impulsionar um ciclo de crescimento mais inclusivo e duradouro, convidando o leitor a refletir sobre como transformá-los em oportunidades concretas para a Região.

Boa leitura!

In an international context characterized by persistent geopolitical tensions and elevated global financial volatility, Revista Econômica do Nordeste reaffirms its role as a platform for evidence-based discussion on sustainable, inclusive, and socially balanced development. External shocks continue to heighten uncertainty in international trade, energy markets, and capital flows, underscoring the importance of domestic policy strategies grounded in productivity growth, innovation, energy transition, and the strengthening of internal demand.

Recent economic indicators suggest that Brazil has demonstrated a degree of macroeconomic resilience. The March minutes of the Monetary Policy Committee indicate that, although inflation expectations remain above the official target, inflationary pressures have eased gradually, allowing for the initial phase of a cautious monetary easing cycle. Monetary policy remains restrictive, reflecting the authorities' commitment to inflation convergence. Projections from the April Focus Report point to GDP growth of 1.9% in 2026, inflation close to 4.0%, and a relatively stable exchange rate.

Labor market trends further reinforce this assessment. Data from the Continuous PNAD indicate that, by the end of 2025, the Northeast recorded an unemployment rate of 7.1%, the lowest in its historical series, while the national rate declined to 5.1%. The expansion of formal employment and growth in real labor income highlights meaningful social progress and strengthening domestic demand.

The articles in this issue engage directly with these developments. They examine the socioeconomic impacts of renewable energy, on income generation and inequality reduction; assess green technologies in family-based agroindustry; analyze agricultural exports, rural credit, and income dynamics; and evaluate environmental governance, emissions, sanitation, energy costs, and public service efficiency. Collectively, these contributions demonstrate that sustainable development in the Northeast is driven by coherent public policies, green infrastructure investment, institutional capacity, and human capital.

Against a backdrop of global uncertainty, REN highlights the Northeast's strategic assets—human capital, renewable energy potential, biodiversity, and productive capacity—as foundations for a more inclusive and resilient growth trajectory.

Enjoy your reading!

VENTOS DE MUDANÇA: AVALIANDO O IMPACTO ECONÔMICO DOS PARQUES EÓLICOS NOS MUNICÍPIOS DO NORDESTE BRASILEIRO

Winds of change: assessing the economic impact of wind farms in municipalities of Northeastern Brazil

Magnus Kelly de Oliveira Pinheiro

Economista. Doutor em Economia. Professor da Secretaria Municipal de Educação de Riacho da Cruz. Av. Camila de Léllis, 285. CEP: 59820-000, Riacho da Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil. magnus-oliveira@hotmail.com

Daniel de Abreu Pereira Uhr

Economista. Doutor em Economia. Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pelotas. Rua Gomes Carneiro, 1. CEP: 96010-610, Campus Anglo, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. daniel.uhr@gmail.com

Júlia Gallego Ziero Uhr

Economista. Doutora em Economia. Professora Associada do Departamento de Economia da Universidade Federal de Pelotas. Rua Gomes Carneiro, 1. CEP: 96010-610, Campus Anglo, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. zierouhr@gmail.com

Resumo: Este artigo investiga os efeitos da instalação de parques eólicos sobre o desenvolvimento econômico de municípios do Nordeste brasileiro no período de 2001 a 2020. Utiliza-se o método de Diferença em Diferenças Duplamente Robusto para estimar os impactos sobre a renda formal média geral e setorial, arrecadação de impostos e desigualdade de renda. Como estratégia de robustez, são aplicadas estimativas com regressões bidirecionais de efeitos fixos (TWFE). Os resultados revelam aumentos significativos na renda média geral (R\$ 820,95), na agricultura (R\$ 80,97), construção civil (R\$ 322,34) e serviços (R\$ 128,26), além de uma redução de 1,4% na desigualdade da renda formal. Os achados sugerem que a expansão da energia eólica contribui positivamente para o desenvolvimento econômico regional e a redução das desigualdades.

Palavras-chave: energia, eólica, renda, desenvolvimento.

Abstract: This article examines the effects of wind farm installations on the economic development of municipalities in the Brazilian Northeast between 2001 and 2020. The study employs the Doubly Robust Difference-in-Differences method to estimate the impacts on average formal income-both general and sectoral-tax revenue, and income inequality. As a robustness check, estimates are also obtained using two-way fixed effects (TWFE) regressions. The results indicate significant increases in general average income (R\$ 820.95), as well as in agriculture (R\$ 80.97), construction (R\$ 322.34), and services (R\$ 128.26), in addition to a 1.4% reduction in formal income inequality. The findings suggest that the expansion of wind energy contributes positively to regional economic development and to the reduction of income disparities.

Keywords: energy, wind, income, development, inequality.

1 INTRODUÇÃO

A instalação da primeira turbina eólica de grande porte em Fernando de Noronha, em 1992, marcou um avanço importante no setor energético brasileiro e sul-americano. Esse projeto experimental deu início a uma trajetória de crescimento na implementação de parques eólicos no Brasil, que, ao longo de três décadas, passaram de uma fonte emergente para representar 14,6% da matriz elétrica do País em 2023, além de responder por mais de 27% dos empreendimentos em construção no setor de energia (ANEEL, 2023).

Grande parte desse crescimento foi impulsionado pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (Lei nº 10.438/2002), que estimulou a inserção da energia eólica no cenário nacional. Ao final de 2022, o Brasil contava com 1.356 empreendimentos eólicos, gerando mais de 24,4 milhões de kW de potência instalada. A Região Nordeste se destaca, abrigoando cerca de 91% desses parques, com mais de 22,3 milhões de kW de energia produzida, o que representa aproximadamente 91,4% da capacidade total do País (ANEEL, 2023).

Muitos desses parques estão localizados em comunidades rurais, o que levanta a expectativa de que possam impulsionar o desenvolvimento econômico dessas regiões. A instalação de parques eólicos pode aumentar a renda dos pequenos proprietários rurais por meio do arrendamento de terras e promover a integração com outras atividades econômicas relacionadas ao uso da terra (Costa; Prates, 2005; Gonçalves et al., 2020; Martini *et al.*, 2018).

Diversos estudos avaliam o impacto local da energia eólica no Brasil (Simas, 2012; Resende, 2015; Rintzel et al., 2017; Martini *et al.*, 2018; Rodrigues et al., 2019). No entanto, poucos abordam de forma adequada o impacto da instalação escalonada dos parques no Nordeste. Este estudo busca contribuir ao empregar métodos estatísticos capazes de lidar com essa heterogeneidade temporal, objetivando analisar o impacto da instalação de parques eólicos sobre a renda média (por setor e geral), na arrecadação de impostos e na desigualdade de renda formal (medida pelo Índice de Gini) dos municípios nordestinos, entre 2001 e 2020.

Para isso, utilizou-se o modelo de Diferença em Diferenças de Callaway e Sant’Anna (2021), além de uma análise de robustez com o método proposto em De Chaisemartin e D’Haultfœuille (2023). Os resultados indicam que a instalação de parques eólicos traz benefícios econômicos relevantes, elevando a renda média, especialmente nos setores agrícola, de construção e de serviços, e reduzindo a desigualdade de renda. Assim, recomenda-se que formuladores de políticas considerem fatores econômicos, o nível de educação e experiências de municípios similares ao planejar novas instalações.

O artigo está organizado em seções: a seção 2 apresenta uma revisão da literatura; a seção 3 detalha o método, a amostra e as variáveis; a seção 4 analisa os resultados do modelo; a seção 5 discute os testes de robustez; e a seção 6 conclui, destacando as implicações políticas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Um projeto conduzido pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), financiado pelo Instituto de Pesquisas Dinamarquês Folkecenter, em colaboração com a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), implementou, em junho de 1992, a primeira turbina de energia eólica do Brasil, no arquipélago de Fernando de Noronha. Esse marco representou a introdução da primeira turbina eólica de grande porte em operação comercial na América do Sul. Em 1994, por meio do Programa Eldorado, foi estabelecida a Central Eólica Experimental do Morro do Camelinho, no município de Gouveia, Minas Gerais (MG). Financiado pelo governo alemão e conduzido pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, esse empreendimento foi a primeira usina eólica do Brasil (ANEEL, 2008).

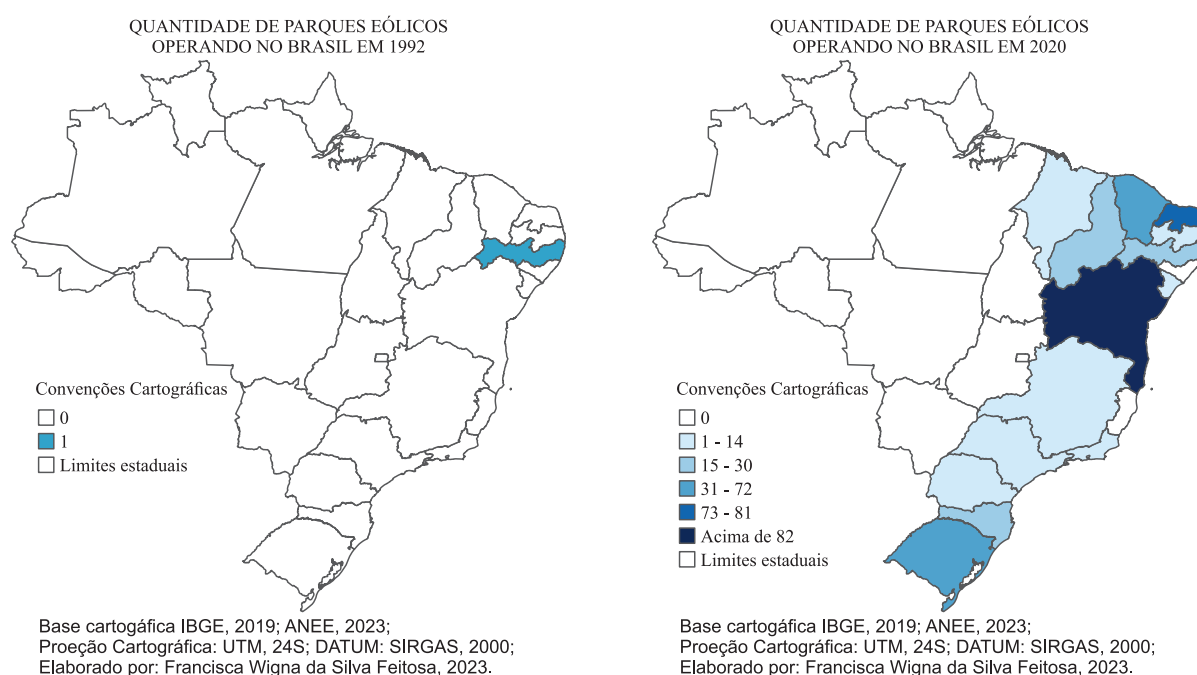
Em 1999, três centrais eólicas adicionais foram inauguradas no Brasil. Em janeiro, a Central Eólica de Taíba foi instalada no município de São Gonçalo do Amarante, Ceará (CE), marcando a primeira vez

no mundo que uma central eólica foi construída sobre dunas e operada por um Produtor Independente de Energia (PIE) na América do Sul. Em abril, foi inaugurado o maior parque eólico da América do Sul, a Central Eólica de Prainha, em Aquiraz (CE), com capacidade de 10 MW, projeto realizado pela Wobben Windpower. Em novembro, a primeira central eólica do Sul do Brasil foi inaugurada em Palmas, Paraná (PR), resultado de uma parceria entre a Companhia Paranaense de Energia – COPEL e a Wobben Windpower (ANEEL, 2008).

Até 2001, a falta de políticas específicas e o custo elevado da tecnologia necessária para a instalação de parques eólicos limitaram significativamente o desenvolvimento da exploração desta fonte de energia como alternativa viável para a geração de energia no Brasil. Apesar de a capacidade potencial de geração de energia eólica do País ultrapassar 490 GW *onshore*, sua utilização permaneceu subdesenvolvida. No entanto, a crise energética de 2001 levou à criação do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), com a finalidade de estimular, de maneira emergencial, a contratação de empreendimentos para a geração de energia eólica, totalizando 1.050 MW. Embora não tenha obtido sucesso em atrair investimentos imediatos, o programa evidenciou a urgência de políticas públicas voltadas à expansão de investimentos em fontes renováveis. Como consequência, o PROEÓLICA foi substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que fomentou o desenvolvimento de fontes renováveis na matriz energética e incentivou o estabelecimento da indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil, impondo requisitos de conteúdo nacional nos aerogeradores resultantes desse programa (Brasil, 2021; Rintzel et al., 2017).

O primeiro leilão exclusivo para comercialização de energia proveniente de fontes eólicas ocorreu no final de 2009, sob a designação de Leilão de Energia de Reserva (LER), contratando 1,8 GW e abrindo caminho para certames posteriores. Desde então, a fonte eólica passou a apresentar crescimento contínuo e significativo, como pode ser observado na Figura 1, consolidando-se como fonte fundamental da matriz elétrica brasileira, deixando de ser considerada meramente alternativa. Atualmente, corresponde à segunda principal fonte da matriz energética nacional, com participação superior a 14% (ANEEL, 2023). Com isso, sua relevância no contexto energético do País tornou-se cada vez mais evidente. O Brasil conta, atualmente, com 981 usinas eólicas, responsáveis por aproximadamente 28 GW de potência instalada (ANEEL, 2023).

Figura 1 – Mudanças na quantidade de parques eólicos operando ao longo do tempo. Mapa a esquerda - quantidade de parques eólicos operando em 1992; Mapa a direita - quantidade de parques eólicos operando em 2020



Desde 1992, verificou-se crescimento expressivo tanto no número de instalações comerciais quanto na capacidade instalada de geração eólica. A Figura 1 apresenta a evolução da distribuição dos parques eólicos por unidade federativa, entre 1992 e 2020. Em 1992, conforme ilustrado à esquerda da Figura 1, a geração era bastante limitada e concentrada no arquipélago de Fernando de Noronha, em Pernambuco (PE), com apenas 1 município operando instalações eólicas, totalizando 75 kW de capacidade. Já em 2020, conforme mostrado à direita da Figura 1, observou-se expansão significativa, com presença em 101 municípios distribuídos em 14 estados, alcançando 17,75 GW de capacidade instalada. A maior parte dessas instalações (cerca de 80%) está localizada na Região Nordeste, havendo variação substancial da capacidade instalada entre os estados e entre municípios de uma mesma unidade federativa (ANEEL, 2008, 2023; Martini *et al.*, 2018).

A implementação de parques eólicos gera efeitos econômicos locais positivos, além de proporcionar benefícios ambientais em escalas global, nacional, regional e local (Martini *et al.*, 2018; Simas, 2012). As economias locais podem apresentar diferentes repercussões decorrentes da instalação dessas estruturas, com destaque para os impactos diretos sobre emprego e renda. No que se refere ao emprego, observa-se influência significativa durante a fase de construção dos parques, enquanto os efeitos sobre a renda decorrem da contratação de mão de obra especializada para gestão e manutenção, bem como do arrendamento de terras pertencentes a proprietários locais. Esses efeitos se manifestam a partir do início das obras e permanecem durante a fase operacional, embora a demanda por mão de obra tenda a se reduzir nesse estágio. Além disso, identificam-se efeitos indiretos sobre a economia local, perceptíveis em setores como serviços (restaurantes, hotéis, consultorias) e na cadeia produtiva relacionada à construção civil e ao fornecimento de equipamentos para torres, o que resulta em renda adicional e estímulo à geração de empregos em segmentos diversos da economia (Brunner; Schwegman, 2022b; Martini *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2019; Simas, 2012).

A instalação dos parques eólicos também impacta diretamente a base tributária dos municípios onde se localizam, permitindo o aumento da arrecadação e, conseqüentemente, a ampliação de investimentos em áreas como saúde, cultura, lazer e educação, além da valorização dos imóveis situados nas proximidades. Estudos como os de Cartaxo (2020), Pinto *et al.* (2017), Simas (2012) e Souza (2022) identificaram aumentos nos gastos municipais nessas áreas e, em alguns casos, elevação no valor de propriedades próximas aos empreendimentos. Rintzel *et al.* (2017) também apontaram crescimento na arrecadação tributária.

Parte da literatura sobre impactos socioeconômicos da energia eólica concentra-se em estimativas, realizadas por meio de estudos de caso em nível nacional e regional (Bezerra, 2019; De Brito Cartaxo, 2020; Gonçalves *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2019; Simas, 2012; Souza, 2022). Mais recentemente, tem-se empregado técnicas econométricas para avaliar os efeitos econômicos em nível local (Resende, 2015; Rintzel *et al.*, 2017; Rodrigues, 2019; Sampaio, 2022).

Utilizando o método de controle sintético e dados do censo demográfico do IBGE de 1991 e 2010, Resende (2015) comparou preços de aluguéis em municípios que receberam parques eólicos entre 1º de julho de 1991 e 1º de julho de 2010, identificando aumento médio de 8,2% nos valores. Por sua vez, Rintzel *et al.* (2017), por meio do Método Estrutural Diferencial e utilizando dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema de Coleta de Dados Contábeis de Estados e Municípios (SISTN) e Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SISCONF) para o período de 1999 a 2013, constataram elevação nos níveis de emprego, arrecadação fiscal e valor adicionado após a instalação dos parques.

Rodrigues (2019), utilizando dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), IBGE, Finanças do Brasil (FINBRA), Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde/Sistema de Informação sobre Mortalidade (DATASUS/SIM) e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), aplicou o método de Diferença em Diferenças para mensurar os impactos econômicos e fiscais após a entrada em operação dos parques, observando aumentos médios de 44,5% no Produto Interno Bruto (PIB) municipal, 29,5% no PIB *per capita* e 45,8% no Valor Adicionado Bruto (VAB) da agricultura.

Sampaio (2022) analisou os efeitos da implementação de usinas eólicas sobre indicadores econômi-

cos e fiscais, como PIB, VAB da agropecuária, indústria e serviços, emprego, arrecadação de impostos e receitas. Utilizando dados da ANEEL, IBGE, FINBRA e RAIS para o período de 2004 a 2018, aplicou uma metodologia de Diferença em Diferenças escalonada, baseada em estudo de evento. Os resultados indicaram efeitos positivos e estatisticamente significativos, com aumentos no PIB *per capita* (4,07% e 3,87% para os grupos 3, grupo formado somente por municípios do Nordeste brasileiro, e 4, grupo formado por municípios selecionados com base na velocidade média dos ventos, respectivamente), no VAB da indústria (até 78,54%), na Receita Tributária (22,51%) e no ICMS (7,42%), além de um pequeno aumento no emprego (cerca de 0,02%).

Observa-se, no entanto, que nenhum dos trabalhos revisados examinou de forma direta os efeitos da instalação de parques eólicos sobre a renda municipal e sua distribuição. Portanto, esse constitui o principal avanço do presente estudo em relação à literatura, especialmente em comparação a Sampaio (2022).

3 DADOS E MÉTODO

3.1 Base de dados

Construiu-se um painel de dados em nível municipal para a Região Nordeste do Brasil, contemplando informações sobre renda formal média (geral e por setores), distribuição da renda formal (índice de Gini), nível educacional dos trabalhadores formais (Relação Anual de Informações Sociais – RAIS), população municipal, arrecadação de impostos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) e identificação dos municípios que instalaram parques eólicos entre 2001 e 2020 (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL).

A renda formal média (por setor e geral) foi utilizada como variável de resposta, sendo a renda média total calculada pela soma das rendas médias nos setores de agricultura, indústria, construção, serviços, comércio e demais categorias. Para deflacionar as variáveis de renda, aplicou-se o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), com ano base em 2020. As informações relativas ao tamanho da população municipal e aos níveis educacionais (analfabetos, ensinos fundamental, médio e superior completos) foram consideradas como covariáveis. A amostra final compreende 1.794 municípios do Nordeste, dos quais 82 instalaram parques eólicos em algum momento entre 2001 e 2020.

A Tabela 1 apresenta estatísticas descritivas das variáveis de resultados e de controle. As estatísticas, expressas em média e desvio-padrão, são exibidas para o grupo tratado, grupo controle e para a amostra completa de municípios. Os municípios tratados apresentam, em geral, valores mais elevados nas variáveis de resultado em comparação com o grupo controle e a amostra completa. Quanto às covariáveis, verifica-se que os municípios tratados possuem, em média, maior população, menores taxas de analfabetismo e de pessoas com apenas ensino fundamental, além de maiores proporções de indivíduos com ensino médio e superior completo, em relação ao grupo controle e à amostra como um todo.

Tabela 1 – Estatísticas Descritivas

	Tratado		Controle		Amostra Completa	
	Média	D.P.	Média	D.P.	Média	D.P.
Variáveis de Resultado						
Renda média	8.863,21	3.518,18	4.821,80	2.772,84	4.887,35	2.832,83
Agricultura	939,72	456,23	533,29	462,45	539,88	465,19
Indústria	1.839,47	2.145,33	623,32	811,26	643,05	863,47
Construção	1.393,31	1.269,36	537,45	696,61	551,33	717,76
Serviços	1.819,55	852,52	1.386,54	850,27	1.393,56	852,05
Comércio	1.098,71	280,39	721,92	404,56	728,04	405,66
Outras	1.772,44	566,34	1.019,28	665,19	1.031,49	670,48
Arrecadação de Impostos	890.582,50	502.592,40	136.623,70	112.050,00	148.851,60	128.577,00
Gini	0,34	0,06	0,28	0,08	0,29	0,08
Covariáveis						
População	79.960,70	332.993,80	29.054,60	104.461,00	29.880,21	112.124,00
Média de Analfabetos	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04
Média do Ensino Fundamental	0,24	0,12	0,33	0,18	0,33	0,18
Média do Ensino Médio	0,52	0,14	0,47	0,17	0,47	0,17
Média do Ensino Superior	0,23	0,13	0,18	0,14	0,18	0,14

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Nota: Esta tabela relata as estatísticas descritivas do grupo tratado, grupo controle e amostra completa (média e desvio-padrão – D.P.). Todos os valores foram arredondados.

3.2 Metodologia

Para estimar o efeito da instalação de parques eólicos sobre a renda formal média (setorial e geral), a distribuição da renda formal e a arrecadação de impostos, adotou-se o método de Diferença em Diferenças (DID). A implementação escalonada e permanente dos parques nos municípios nordestinos gerou heterogeneidade temporal no tratamento, o que compromete a adequação dos estimadores tradicionais de DID com efeitos fixos em modelos de dados em painel. Conforme apontado na literatura econômica, quando o tratamento ocorre em diferentes momentos entre os municípios tratados, a utilização do modelo com efeitos fixos bidimensionais (*two-way fixed effects*) pode produzir estimativas enviesadas (Athey; Imbens, 2022; Callaway; Sant’Anna, 2021; Goodman-Bacon, 2021; Sun; Abraham, 2021).

O modelo proposto por Callaway e Sant’Anna (2021) assume tendências paralelas condicionais, ou seja, pressupõe-se que apenas municípios com características semelhantes apresentariam trajetórias similares na renda média, na ausência do tratamento. Formalmente, considera-se que o município i é tratado, $D_i=1$, a partir do ano g , quando ocorre a instalação do primeiro parque eólico ($D_i=1$ para todo $t \geq g$), permanecendo tratado até o fim do período analisado. Para os anos anteriores à instalação ($t < g$), considera-se que o município ainda não foi tratado ($D_i=0$ para $t < g$). Dessa forma, o Efeito Médio do Tratamento (ATT) sobre os Tratados pode ser estimado da seguinte maneira:

$$ATT = E[Y_t(1) - Y_t(0) | D=1] \quad (01)$$

Em termos de resultados potenciais, o ATT idealmente corresponde à diferença entre os resultados médios potenciais para as unidades tratadas, $y_t(1)$, e não tratadas, $y_t(0)$, considerando o grupo com $D = 1$. No entanto, essa abordagem não é viável, pois apenas um dos resultados potenciais é observável para cada município. Por esse motivo, torna-se necessário estabelecer um grupo de comparação composto por municípios que não instalaram parques eólicos, a fim de construir um contrafactual. Esse grupo deve representar o que teria ocorrido com os municípios tratados na ausência do tratamento.

O problema de inferência causal no estimador de Diferença em Diferenças (DID) proposto por Callaway e Sant’Anna estrutura-se da seguinte forma: considera-se um conjunto de T períodos, onde $t = 1, 2, \dots, T$, sendo D_t uma variável binária que assume valor 1 se o município instala um parque eó-

lico no ano t , e 0, caso contrário. Define-se também $G_g = 1$ quando o município é tratado pela primeira vez no ano g , e $G_g = 0$ nos demais casos. Adicionalmente, estabelece-se $C = 1$ para os municípios que nunca recebem o tratamento ao longo do período analisado. Assim, cada município da amostra possui exatamente $G_g = 1$ ou $C = 1$.

Com isso, torna-se possível identificar o efeito do tratamento sobre os tratados para cada combinação (g, t) , em que representa o ano de entrada no tratamento (coorte) e t o tempo calendário. O escore de propensão generalizado, denotado por $P_g(X) = P(G_g = 1 | X, G_g + C = 1)$, expressa a probabilidade de um município ser tratado no ano g , condicionada às covariáveis X e ao pertencimento ao grupo de tratamento ou de controle. Esse escore é estimado separadamente para cada coorte g , permitindo maior flexibilidade na identificação de unidades de controle com características semelhantes às dos tratados.

Ao se assumir a hipótese de tendências paralelas condicionais, conforme adotado neste estudo, a matriz de covariáveis X é considerada constante. O resultado observado para cada período t é estimado da seguinte forma:

$$Y_t = D_t Y_t(1) + (1 - D_t) Y_t(0) \quad (02)$$

onde $Y_t(1)$ e $Y_t(0)$ são os resultados potenciais da renda média (por setor e geral), da arrecadação de impostos e da distribuição de renda (mensurada pelo índice de Gini) no tempo t , com e sem tratamento, respectivamente.

Diferentemente da abordagem DID tradicional, o parâmetro causal de interesse neste estudo é o efeito médio do tratamento por grupo, denotado por $ATT(g, t)$, definido como uma função do grupo de tratamento g (ano em que o município instala pela primeira vez um parque eólico) e do período t . Este estudo considera treze grupos distintos de municípios tratados pela primeira vez nos anos de 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2020, ao longo dos respectivos períodos t . Sob as hipóteses de tendências paralelas (condicionais ou incondicionais), escalonamento do tratamento, irreversibilidade da condição de tratamento e sobreposição nas covariáveis¹, a estimativa do efeito médio do tratamento por grupo é definida da seguinte forma:

$$ATT(g, t) = \mathbb{E} [Y_t(g) - Y_t(0) | G = g] \quad (03)$$

Essa expressão representa a diferença média entre os resultados observados para os municípios tratados no grupo g e o contrafactual estimado com base em municípios ainda não tratados no tempo t .

Considerando a estrutura de dados em painel balanceado, estima-se o ATT para o grupo g no período t de forma semiparamétrica da seguinte maneira:

$$ATT(g, t) = \left[\left(\frac{G_g}{\mathbb{E}[G_g]} - \frac{\frac{P_g(X)C}{1 - P_g(X)}}{\mathbb{E}\left[\frac{P_g(X)C}{1 - P_g(X)}\right]} \right) (Y_t - Y_{g-1}) \right] \quad (04)$$

Os erros-padrão são calculados por meio de procedimento *bootstrap*, com ajuste para autocorrelação e agrupamento (*clustering*), o que permite a realização de inferência assintoticamente válida. O subscrito g representa: (i) o grupo ao qual pertencem os municípios tratados no tempo e (ii) o primeiro período em que os municípios instalam o parque eólico. O termo p denota os pesos, ou seja, os escores de propensão normalizados para somar 1. Para isso, as covariáveis são reponderadas, de modo que os grupos de tratamento (g) e de controle (C) apresentem equilíbrio. Essa técnica permite utilizar como grupos de controle tanto unidades nunca tratadas quanto aquelas ainda não tratadas. Além disso, o estimador controla fatores não observáveis invariantes no tempo entre os grupos, evitando viés na estimação dos efeitos causais de interesse (Callaway; Sant'Anna, 2021; Carrillo; Feres, 2019).

¹ As premissas mencionadas são extensões naturais das suposições de identificação consideradas no caso tradicional – com dois períodos e dois grupos – para o caso de múltiplos períodos. As suposições da estratégia econométrica são discutidas e apresentadas com detalhes no trabalho de Callaway e Sant'Anna (2021).

Por combinar abordagens de regressão propostas por Heckman, Ichimura e Todd (1997) e Heckman et al. (1998), com o método de escore de propensão de Abadie (2005), em um modelo de Diferença em Diferenças com múltiplos períodos, essa estratégia é denominada duplamente robusta. Essa robustez advém do fato de requerer apenas a especificação correta do modelo de evolução dos resultados ou do modelo de escores de propensão, mas não de ambos (Callaway; Sant’Anna, 2021; Sant’Anna; Zhao, 2020).

Entre as vantagens desse método, destaca-se a capacidade de gerar uma gama de efeitos heterogêneos, identificando o impacto para cada grupo g nos períodos em que $t \geq g$. Este estudo, portanto, analisa os seguintes efeitos: efeito médio do tratamento nos municípios tratados, efeito médio por grupos, efeito calendário e efeito dinâmico. O primeiro parâmetro estimado é o efeito médio da instalação de parques eólicos, que representa a média do impacto da exposição ao tratamento entre as unidades tratadas. Esse efeito é calculado da seguinte forma:

$$\theta_{sel}^0 = \sum_{g \in G} \theta_s(g) P(G = g | G \leq t) \quad (05)$$

Ao agregar cada Efeito Médio do Tratamento – $ATT(g, t)$, estimado a partir da equação (04), obtém-se um parâmetro de efeito causal mais intuitivo e de fácil interpretação (Callaway; Sant’Anna, 2021). A seguir, apresenta-se o parâmetro resultante desse procedimento de agregação, derivado de estimativas imparciais e consistentes dos efeitos do tratamento por grupo.

A agregação dos $ATTs(g, t)$ na conjuntura de instalação dos parques eólicos pode apresentar desvantagens. Como cada empresa define o momento da instalação dos parques em cada município, a estimativa pode ser afetada por viés de seleção, devido à natureza não aleatória do tratamento. Isso implica que municípios com instalação precoce podem experimentar os efeitos do tratamento antes dos demais, o que tende a atribuir maior peso aos grupos com maior número de observações no período pós-tratamento.

Dessa forma, uma média simples dos $ATT(g, t)$ tende a favorecer os grupos tratados precocemente, pois concentram mais observações após o início do tratamento. Para controlar esse problema, recomenda-se calcular o $ATT(g, t)$ específico para cada grupo tratado e, em seguida, computar a média dos efeitos no período pós-tratamento, conforme segue:

$$\tilde{\theta}_s(g) = \frac{1}{T - g + 1} \sum_{t=g}^T \{t \geq g\} ATT(g, t) \quad (06)$$

$$\tilde{\theta}_s = \sum_{g=2}^T \theta_s(g) P(G = g) \quad (07)$$

A equação (06) expressa o efeito específico de cada grupo tratado no período de pós-tratamento, enquanto a equação (07) representa o efeito geral do tratamento, denotado por θ_s , resultante da agregação dos efeitos específicos entre os grupos. O parâmetro θ_s resume o impacto da implantação dos parques eólicos nos municípios do Nordeste sobre a renda média (por setor e geral), sobre a arrecadação de impostos e sobre a distribuição de renda (medida pelo índice de Gini), independentemente de eventuais problemas de seletividade do tratamento. Além disso, θ_s constitui uma estimativa imparcial e robusta do impacto do tratamento em cada grupo tratado, análogo ao ATT no caso de dois períodos (Callaway; Sant’Anna, 2021; Teixeira; Venter, 2021).

Adicionalmente, realiza-se a análise do efeito agregado por ano t , denominado efeito calendário, calculado da seguinte forma:

$$\theta_c(t) = \sum_{g \in G} 1\{t \geq g\} ATT(g, t) P(G = g | t \geq g) \quad (08)$$

em que $P(G = g | t \geq g)$ representa a proporção de unidades tratadas no grupo g presentes no período $t \geq g$, e $\theta_c(t)$ corresponde à média ponderada dos efeitos $ATT(g, t)$ no período t , considerando todos os grupos que receberam o tratamento antes desse período. A agregação desse efeito é expressa por:

$$\theta_c = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T \theta_c(t) \quad (09)$$

Ainda que θ_s e θ_c representem medidas adequadas do efeito causal da instalação de parques eólicos nos municípios do Nordeste sobre a renda média (por setor e geral), a arrecadação de impostos e a distribuição de renda (medida pelo índice de Gini), é possível que o efeito do tratamento seja dinâmico. A dinâmica do efeito do tratamento constitui um dos focos deste estudo sendo razoável supor que os impactos se intensifiquem ao longo do período pós-tratamento.

Para analisar a variação temporal dos efeitos da instalação de parques eólicos sobre as variáveis de interesse, calcula-se a média do *ATT* por grupo, evidenciando a dinâmica do efeito da intervenção conforme a duração da exposição ao tratamento, da seguinte forma:

$$\tilde{\theta}_D(e) = \sum_{g=2}^T \sum_{t=g+1}^T I\{t-g+1=e\} ATT(g,t)P(G=g|t-g+1=e) \quad (10)$$

onde e corresponde ao *eventtime*, isto é, o tempo de exposição decorrido desde o primeiro período do tratamento. Em seguida, calcula-se a média para todos os valores de e da seguinte forma:

$$\theta_D = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T \theta_D(e) \quad (11)$$

A equação (11) representa a medida agregada do efeito dinâmico (*event study*). A principal diferença entre θ_D e θ_s está nos pesos: θ_D atribui maior peso ao *ATT* (g, t) quando $g < t$. Dessa forma, os grupos com maior tempo de exposição ao tratamento recebem ponderação mais elevada (Teixeira; Venter, 2021). O efeito dinâmico constitui o foco desta análise, considerando a suposição de tendências paralelas condicionais, com o grupo de controle composto por unidades nunca tratadas e por unidades ainda não tratadas.

Essa especificação permitir verificar a existência de pré-tendências diferenciais nos resultados de interesse e avaliar a plausibilidade da suposição de identificação. De modo geral, se os municípios tratados e não tratados apresentam tendências semelhantes antes da instalação dos parques eólicos e passam a divergir apenas após sua implementação, infere-se, de forma robusta, que as mudanças observadas resultam da instalação dos parques eólicos, e não de características não observáveis (Carrillo; Feres, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as estimativas do impacto da instalação de parques eólicos sobre as rendas médias – geral e por setor –, a arrecadação de impostos e a desigualdade de renda dos municípios. As estimativas foram obtidas com base na Equação (07), utilizando o método de Estimativa Duplamente Robusto (DRIPW), com os grupos de controle formados por unidades nunca tratadas e ainda não tratadas, nas colunas 1 e 2, respectivamente. Nas colunas 3 e 4, os resultados baseiam-se no estimador de Diferença em Diferenças com ponderação de probabilidade inversa (IPW), conforme Abadie (2005), considerando, respectivamente, os mesmos grupos de controle. Já nas colunas 5 e 6, apresentam-se os resultados obtidos por meio do estimador de regressão DID baseado em Mínimos Quadrados Ordinários, também utilizando os dois grupos de controle mencionados.

Todas as estimativas foram geradas com o estimador proposto por Callaway e Sant'Anna (2021), adotando como covariáveis: população total e proporção da população com nível educacional classificado como analfabeto, fundamental, médio e superior.

Tabela 2 – Resultados do impacto da energia eólica na renda por setores

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A. Renda						
Efeito	820,95***	822,89***	811,67***	808,69***	761,94***	758,54***
S.d.	(227,99)	(224,75)	(226,7)	(227,19)	(232,68)	(233,09)
B. Agricultura						
Efeito	80,97***	81,349***	79,50***	79,86***	69,41***	69,71**
S.d.	(27,29)	(27,32)	(27,14)	(27,18)	(26,81)	(26,84)
C. Indústria						
Efeito	279,21	276,58	276,79	274,17	257,54	255,14
S.d.	(176,52)	(177,05)	(176,66)	(177,20)	(177,46)	(177,84)
D. Construção						
Efeito	322,34***	321,23***	320,33***	319,21***	302,85***	301,43***
S.d.	(78,23)	(78,34)	(78,36)	(78,48)	(79,73)	(79,88)
E. Serviços						
Efeito	128,26***	128,48***	126,58***	126,79***	126,83***	126,87***
S.d.	(49,1)	(49,13)	(49,25)	(49,28)	(48,65)	(48,68)
F. Comércio						
Efeito	- 2,89	- 2,80	- 4,28	- 4,20	- 2,89	- 2,84
S.d.	(10,20)	(10,20)	(10,46)	(10,46)	(10,00)	(10,01)
G. Outras						
Efeito	17,94	18,05	12,75	12,86	8,18	8,23
S.d.	(18,46)	(18,47)	(23,35)	(23,36)	(25,04)	(25,05)
H. Impostos						
Efeito	83979,4	83898,92	38473,53	38367,92	43638,26	43595,87
S.d.	(61008,88)	(60916,89)	(54591,97)	(54699,16)	(40793,4)	(40727,94)
I. Gini						
Efeito	- 0,014**	- 0,014**	- 0,014**	- 0,014**	- 0,011**	- 0,011**
S.d.	(0,006)	(0,006)	(0,006)	(0,006)	(0,006)	(0,006)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Notas: Todos os valores foram arredondados para duas casas decimais. Os símbolos *, ** e *** indicam significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Os valores entre parênteses correspondem aos desvios-padrão.

Nas colunas 1 e 2 da Tabela 2, observa-se que a instalação dos parques eólicos aumentou a renda média geral (R\$ 820,95), a renda média da agricultura (R\$ 80,97), da construção civil (R\$ 322,34) e dos serviços (R\$ 128,26), além de ter reduzido a desigualdade de renda em aproximadamente 0,014 pontos (ou 1,4%). Nas colunas 3 a 6, verifica-se que o impacto do tratamento incide sobre as mesmas variáveis, variando apenas a magnitude dos efeitos. Por exemplo, com relação à renda média geral, ao comparar os resultados das colunas 1 e 2 com os das colunas 5 e 6, nota-se uma diferença de aproximadamente R\$ 67,00.

As colunas 1 a 6 mostram que a arrecadação de impostos aumentou, embora o efeito não seja estatisticamente significativo. A literatura sobre esse resultado é controversa. Por exemplo, Brunner e Schwegman (2022a) examinaram como os governos de condados nos Estados Unidos respondem a aumentos aleatórios plausíveis na base tributária local gerada por instalações de energia eólica, com dados de 1995 a 2017, e constataram que a instalação levou a grandes aumentos nas receitas e despesas locais.

De forma semelhante, Brunner et al. (2022) analisaram o impacto da energia eólica sobre as finanças dos distritos escolares e o desempenho dos alunos, utilizando dados de 1995 a 2016, e concluíram que houve aumento substancial nas receitas dos distritos. Por outro lado, Xia e Song (2017), ao realizar uma avaliação econométrica ex post do impacto da energia eólica na economia local na China, com dados em nível de condado entre 2005 e 2011, observaram que a capacidade instalada de energia eólica teve efeito negativo sobre a receita fiscal local.

Os resultados referentes à desigualdade de renda estão apresentados nas linhas finais da Tabela 2.

Observa-se que a instalação de parques eólicos reduziu a desigualdade da renda, com uma queda aproximada de 1,4%. A Tabela 7, presente no Apêndice A, apresenta os efeitos dinâmicos do tratamento e indica que essa redução se torna estatisticamente significativa após cinco anos da instalação dos parques.

A avaliação do impacto da instalação de parques eólicos sobre a renda média geral pode ser comparada com evidências anteriores da literatura, como os resultados de Brunner et al. (2012), Brown et al. (2012), Brunner e Schwegman (2022b) e De Silva et al. (2016), todos com foco em regiões dos Estados Unidos. Brown et al. (2012), por exemplo, conduziram uma análise econométrica *ex post* dos impactos econômicos em nível de condado entre 2000 e 2008, em uma região com alto potencial eólico, e estimaram um aumento de aproximadamente US\$ 11.000 na renda pessoal como resultado da instalação de energia eólica.

Brunner e Schwegman (2022b), usando dados de instalações comerciais de energia eólica entre 1995 e 2018, identificaram aumentos economicamente significativos na renda familiar média. De maneira análoga, De Silva, McComb e Schiller (2016) encontraram aumentos relevantes na renda per capita em condados do Texas após o crescimento da capacidade instalada de energia eólica.

Diferentemente desses estudos, o impacto aqui medido refere-se à renda média geral, que aumentou em aproximadamente R\$ 825,83. Considerando a renda média mensal da Região Nordeste, estimada em R\$ 1.554,00 pelo IBGE (2021), esse aumento representa um acréscimo de cerca de 53,14 % na renda média da Região.

Experiências internacionais, como as da Alemanha e Dinamarca, sugerem que a instalação de parques eólicos em áreas rurais pode elevar a renda local (AIE, 2002). Os resultados encontrados para renda média da agricultura indicam um aumento médio de aproximadamente R\$ 80,97, corroborando esse argumento e os achados de Mauritzen (2020), que, ao combinar dados trimestrais sobre salários e investimentos em usinas eólicas superiores a 1 megawatt (MW), aplicou um modelo bayesiano multinível estimado por Markov Chain Monte Carlo (MCMC) e encontrou um aumento permanente de 2% nos salários em condados rurais dos EUA após a instalação de grandes parques eólicos (400 MW).

Ainda segundo a Tabela 2, observam-se aumentos médios de R\$ 322,34 na renda da construção civil e de R\$ 128,26 na dos serviços. Tais achados são consistentes com os resultados de Mikulić et al. (2018), que, ao estimar os efeitos totais da instalação de usinas eólicas na economia croata, identificaram impactos positivos indiretos e induzidos de 1% e 2% no Valor Adicionado Bruto da construção e dos serviços, respectivamente. Para os demais indicadores apresentados na Tabela 2, os efeitos estimados no período pós-tratamento não apresentam significância estatística.

Dando continuidade à análise do impacto da instalação de parques eólicos sobre as rendas médias geral e setoriais, a arrecadação de impostos e a desigualdade de renda municipal, examinaram-se os resultados estimados com base em três medidas de efeito médio agregado: efeito por grupo, efeito por calendário e efeito dinâmico. As estimativas, apresentadas na Tabela 3, consideram apenas os municípios nunca tratados como grupo de controle, utilizando o método Duplamente Robusto baseado em ponderação de probabilidade inversa estabilizada (DRIPW).

Tabela 3 – Efeito médio desagregado das eólicas

	(1) ATT Grupo	(2) ATT Calendário	(3) ATT Dinâmico
A. Renda			
Efeito	649,65***	441,55***	1049,66***
S.d.	(226,38)	(137,53)	(247,18)
B. Agricultura			
Efeito	60,11**	49,89***	131,94***
S.d.	(28,16)	(19,24)	(23,39)
C. Indústria			
Efeito	94,22	212,04*	486,51***
S.d.	(176,87)	(109,47)	(189,46)
D. Construção			
Efeito	317,66***	169,41***	169,41***
S.d.	(90,69)	(65,68)	(65,68)
E. Serviços			
Efeito	162,54***	4,20	65,15
S.d.	(48,03)	(30,86)	(40,47)
F. Comércio			
Efeito	1,04	- 10,04	- 34,92***
S.d.	(7,92)	(7,81)	(11,52)
G. Outras			
Efeito	14,07	16,05	36,45*
S.d.	(18,23)	(13,18)	(19,11)
H. Impostos			
Efeito	58.069,22	38.410,82	14.704,30*
S.d.	(36.142,20)	(31.919,63)	(77.759,25)
I. Gini			
Efeito	- 0,01*	- 0,022***	- 0,04***
S.d.	(0,003)	(0,005)	(0,007)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Notas: Esta tabela apresenta os resultados desagregados estimados, respectivamente, por grupo, ano e efeitos dinâmicos. Foi usada a opção de estimador de Diferença em Diferenças Duplamente Robusto baseado em ponderação de probabilidade inversa estabilizada e mínimos quadrados ordinários. Como grupo de controle foi usado os nunca tratados. Os símbolos *, ** e *** representam a significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Os valores entre parênteses são os desvios-padrão.

Os resultados da Tabela 3 indicam efeitos estatisticamente significativos da instalação de parques eólicos sobre a média geral, a renda média da agricultura, a renda média da construção e a desigualdade de renda, para as três medidas de efeito analisadas. Os efeitos observados são consistentes entre os diferentes níveis de agregação e alinham-se à literatura, sugerindo aumentos nas rendas dos setores agrícola e da construção e redução da desigualdade de renda.

A análise da Tabela 3 revela também efeitos positivos e estatisticamente significativos na renda média da indústria para os efeitos por calendário e dinâmico. Para renda média dos serviços, observa-se efeito estatisticamente significativo no efeito agregado por grupo, com aumento de R\$ 162,54. A renda média do comércio diminuiu em R\$ 34,92 e outras rendas médias aumentaram R\$ 36,45, os efeitos foram estatisticamente significativos apenas no efeito dinâmico. A arrecadação aumentou R\$ 14.704,3 e apresentou significância estatística apenas nessa mesma medida. Esse resultado está em conformidade com a literatura, como demonstrado por Brunner e Schwegman (2022a), que identificam efeitos positivos da instalação de parques eólicos sobre a base tributária, e Brunner et al. (2022), que relatam aumentos substanciais nas receitas distritais.

Os efeitos foram também analisados de forma desagregada e estão apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7 do Apêndice A. A Tabela 5, presente no Apêndice A, mostra os efeitos por grupo tratado, revelando significância estatística em todas as variáveis analisadas. Por exemplo, municípios que instalaram parques

eólicos nos anos de 2004, 2006, 2008, 2012, 2014 e 2016 apresentaram aumentos na renda média geral. Efeitos positivos e estatisticamente significativos foram identificados na renda média da agricultura para os grupos que instalaram parques em 2004, 2006, 2008, 2009, 2010 e 2013. Da mesma forma, observam-se efeitos positivos na renda média da indústria nos anos de 2004, 2006 e 2013. As rendas médias da construção, dos serviços e outras rendas também apresentaram efeitos estatisticamente significativos, com sinais positivos e negativos, dependendo do grupo. A renda média do comércio apresentou efeitos negativos e estatisticamente significativos. Alguns desses resultados não haviam sido evidenciados na Tabela 2.

A Tabela 6, presente no Apêndice A, apresenta os efeitos desagregados por ano (efeito calendário). Nos anos iniciais, as rendas médias geral, da agricultura e dos serviços apresentam efeitos negativos e estatisticamente significativos, com reversão dessa tendência ao longo do tempo. A renda média geral passou a apresentar aumentos estatisticamente significativos a partir de 2012, mantendo-se assim até o final do período analisado. A renda média dos serviços, por sua vez, foi negativamente afetada nos anos de 2004, 2005, 2007 e 2010, apresentando posteriormente efeitos positivos significativos entre 2017 e 2020.

A Tabela 7, presente no Apêndice A, mostra os efeitos dinâmicos, que correspondem aos impactos médios conforme o tempo decorrido desde o início do tratamento. No caso da renda média geral, os municípios tratados por períodos entre 1 e 10 anos e entre 12 e 16 anos registram aumentos que variam de R\$ 378,12 a R\$ 1.759,94. Quanto à desigualdade de renda, medida pelo índice de Gini, verificou-se uma tendência de redução ao longo do tempo, com quedas que variam de 1% no quinto ano a 10% no décimo quinto ano de tratamento.

5 ANÁLISE DE ROBUSTEZ

Embora os resultados estimados pelo modelo de Diferença em Diferenças (DID), proposto por Callaway e Sant'Anna, apresentados na Tabela 2, indiquem que a instalação de parques eólicos eleva significativamente a renda média (geral e de alguns setores) e reduz a desigualdade de renda no setor formal dos municípios nordestinos, realizou-se um teste de robustez utilizando o estimador proposto por De Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2023). Com a inclusão de covariáveis, o estimador apresentado em De Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2023) considera linearmente o efeito de covariáveis que variam no tempo, enquanto o de Callaway e Sant'Anna (2021) incorpora, de forma não paramétrica, covariáveis invariantes ao longo do tempo.

As colunas 1 e 2 da Tabela 4 mostram que a instalação de parques eólicos aumenta as rendas médias geral, da construção e dos serviços em uma magnitude superior à da renda média da agricultura, a qual é proveniente do arrendamento de terras (Martini et al., 2018). Esses achados corroboram as evidências empíricas obtidas por meio do estimador de Callaway e Sant'Anna (2021), conforme apresentado na Tabela 2.

Para reforçar a robustez dos resultados, estimou-se o modelo sem covariáveis, o que aproxima numericamente os resultados do estimador proposto por De Chaisemartin e D'Haultfoeuille (2023) daqueles obtidos com o estimador de Callaway e Sant'Anna (2021). As colunas 3 e 4 indicam que a implantação de parque eólicos promove aumentos nas rendas médias geral, da agricultura, da construção e dos serviços. Esses resultados são consistentes com os da Tabela 2, coluna 2, indicando robustez nas estimativas anteriores.

Tabela 4 – Resultados do impacto da energia eólica na renda por setores

	(1)	(2)	(3)	(4)
A. Renda				
Efeito	833.98***	833.98***	844.81***	844.81***
S.d.	(196.79)	(230.81)	(225.56)	(198.54)
B. Agricultura				
Efeito	76.64***	76.64***	78.99***	78.99***
S.d.	(25.11)	(24.66)	(30.37)	(28.01)
C. Indústria				
Efeito	271.36	271.36	272.98	272.98
S.d.	(180.32)	(172.66)	(160.40)	(196.62)
D. Construção				
Efeito	313.70***	313.70***	317.31***	317.31***
S.d.	(89.53)	(80.50)	(82.44)	(87.16)
E. Serviços				
Efeito	129.24**	129.24***	128.47***	128.47***
S.d.	(52.99)	(46.94)	(47.26)	(43.47)
F. Comércio				
Efeito	2.47	2.47	2.94	2.94
S.d.	(8.73)	(8.61)	(9.13)	(9.90)
G. Outras				
Efeito	40.57*	40.57*	44.10**	44.10*
S.d.	(21.70)	(21.18)	(21.63)	(22.20)
H. Impostos				
Efeito	396409.00	396409.00	421291.10	421291.10
S.d.	(285051.70)	(316870.00)	(369414.10)	(328578.10)
I. Gini				
Efeito	-0.012**	-0.012**	-0.012***	-0.012**
S.d.	(0.005)	(0.005)	(0.004)	(0.005)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Notas: Cada coluna apresenta os resultados para uma especificação diferente do modelo: com covariáveis e com cluster, com covariáveis e sem cluster, com covariáveis e com cluster e com covariáveis e sem cluster. Todos os valores estão a preços constantes de 2020 e foram arredondados para duas casas decimais. Os símbolos *, ** e *** representam a significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. Os valores entre parênteses são as estatísticas t-student.

6 CONCLUSÕES, IMPLICAÇÕES POLÍTICAS E PESQUISAS FUTURAS

Esta pesquisa apresenta evidências sobre o impacto da instalação de parques eólicos no desenvolvimento econômico de municípios nordestinos. Utilizaram-se metodologias de Diferença em Diferenças, explorando a heterogeneidade temporal e espacial da instalação dos parques para estimar os efeitos sobre a renda formal média. Também foram avaliados os impactos setoriais (agricultura, indústria, construção, serviços, comércio e outros setores), a arrecadação de impostos e a distribuição da renda formal, medida pelo índice de Gini.

Verificou-se que a instalação de parques eólicos elevou significativamente a renda formal média, especialmente nos setores agrícola, da construção e dos serviços. Além disso, observou-se uma redução na desigualdade de renda formal nos municípios tratados, com uma queda de aproximadamente, 0,014 no índice de Gini, o que representa uma redução de cerca de 1,4%.

Embora o Brasil possua uma matriz energética relativamente limpa, a necessidade de diversificação da base energética e de redução das emissões de carbono permanece urgente. Nesse contexto, a energia eólica apresenta-se como uma alternativa viável. Os resultados indicam que, além de fornecer uma fonte renovável de energia, a instalação de parques eólicos tem potencial para impulsionar as economias locais. Ademais, identificaram-se efeitos diretos positivos, decorrentes da contribuição desses parques para a descarbonização.

As evidências obtidas oferecem subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas. Considerando que muitos municípios nordestinos apresentam renda média inferior à de outras regiões do País, os resultados sugerem que investimentos em energia eólica podem promover aumento na renda em setores específicos, estimulando o dinamismo econômico e a diversificação produtiva. Adicionalmente, os efeitos observados sobre a desigualdade de renda indicam que tais investimentos contribuem para a melhoria das condições de vida da população local.

A análise concentrou-se em variáveis municipais relacionadas à renda, arrecadação e desigualdade. Não foram examinados os efeitos sobre outras dimensões, com PIB, PIB per capita, emprego ou população. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem esses aspectos e investiguem os impactos diretos em municípios vizinhos. Tais estudos podem ampliar a compreensão sobre os benefícios diretos e indiretos da instalação de parques eólicos, contribuindo para decisões mais informadas por parte de formuladores de políticas, profissionais e pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ABADIE, A. Semiparametric difference-in-differences estimators. **The review of economic studies**, v. 72, n. 1, p. 1-19, 2005.

AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **IEA Renewable Energy Working Party**. Renewable Energy Working Party: Renewable Energy into the Mainstream. 2002.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 06 dez. 2023.

_____. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf. Acesso em: 05 dez. 2023.

ATHEY, S.; IMBENS, G. W. Design-based analysis in difference-in-differences settings with staggered adoption. **Journal of Econometrics**, v. 226, n. 1, p. 62-79, 2022. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0304407621000488>. Acesso em: 06 jun. 2023.

BEZERRA, F. D. **Energia eólica no Nordeste**. 2019. Disponível em: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1192>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Sistema de Informações Energéticas. **Recursos e Reservas de energia**. 2021. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/reporte-dato42-jerarquizado.aspx?oc=30191&or=30192&ss=2&v=1>. Acesso em: 06 dez. 2023.

BROWN, J. P. *et al.* Ex post analysis of economic impacts from wind power development in US counties. **Energy Economics**, v. 34, n. 6, p. 1743-1754, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.07.010>. Acesso em: 05 jun. 2023.

BRUNNER, E.; HOEN, B.; HYMAN, J. School district revenue shocks, resource allocations, and student achievement: Evidence from the universe of US wind energy installations. **Journal of Public Economics**, v. 206, p. 104586, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2021.104586>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BRUNNER, E. J.; SCHWEGMAN, D. J. Windfall revenues from windfarms: How do county govern-

ments respond to increases in the local tax base induced by wind energy installations? **Public Budgeting & Finance**, v. 42, n. 3, p. 93-113, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pbaf.12318>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BRUNNER, E. J.; SCHWEGMAN, D. J. Commercial wind energy installations and local economic development: Evidence from US counties. **Energy Policy**, v. 165, p. 112993, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112993>. Acesso em: 25 maio 2023.

CALLAWAY, B.; SANT'ANNA, P. HC. Difference-in-differences with multiple time periods. **Journal of econometrics**, v. 225, n. 2, p. 200-230, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2011.12.001>. Acesso em: 05 maio 2023.

CARRILLO, B.; FERES, J. Provider supply, utilization, and infant health: evidence from a physician distribution policy. **American Economic Journal: Economic Policy**, v. 11, n. 3, p. 156-196, 2019. Disponível em: https://www.anpec.org.br/nordeste/2018/submissao/arquivos_identificados/099-e5ab-1577da21c7a6b32f2558cab3f380.pdf. Acesso em: 25 jun. 2023.

CARTAXO, R. B. Do litoral ao sertão: a energia eólica no estado da Paraíba. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22292/mas.v9i19.879>. Acesso em: 23 jun. 2023.

COSTA, R. C.; PRATES, C. P. T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. 2005. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2436>. Acesso em: 05 jul. 2023.

DE CHAISEMARTIN, C.; D'HAULTFOEUILLE, X. Two-way fixed effects and differences-in-differences estimators with several treatments. **Journal of Econometrics**, v. 236, n. 2, p. 105480, 2023. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3751060. Acesso em: 06 dez. 2023.

DE SILVA, D. G.; MCCOMB, R. P.; SCHILLER, A. R. What blows in with the wind? **Southern Economic Journal**, v. 82, n. 3, p. 826-858, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/soej.12110>. Acesso em: 18 jul. 2023.

GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, p. 109887, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109887>. Acesso em: 20 jul. 2023.

GOODMAN-BACON, A. Difference-in-differences with variation in treatment timing. **Journal of Econometrics**, v. 225, n. 2, p. 254-277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2021.03.014>. Acesso em: 15 jul. 2023.

HECKMAN, J. J.; ICHIMURA, H.; TODD, P. E. Matching as an econometric evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training programme. **The review of economic studies**, v. 64, n. 4, p. 605-654, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2971733>. Acesso em: 10 jul. 2023.

HECKMAN, J. J.; ICHIMURA, H.; SMITH, J. A.; TODD, P. E. **Characterizing selection bias using experimental data**. National bureau of economic research Cambridge, Mass., USA. 1998. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w6699>. Acesso em: 10 jul. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População**. Brasília, DF: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 03 dez. 2023.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio**. ISSN 0101-6822, Rio de Janeiro, v. 32, p. 1-134, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=759>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MARTINI, R. A. *et al.* **Uma solução automatizada para avaliações de impacto em estudos de caso: o Modelo Automatizado em R para Verificação de Impacto (MARVIm): módulo de controle sintético**. 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15781>. Acesso em: 13 maio 2023.

MAURITZEN, J. Will the locals benefit? The effect of wind power investments on rural wages. **Energy policy**, v. 142, p. 111489, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.111489>. Acesso em: 18 maio 2023.

MIKULIĆ, D.; LOVRINČEVIĆ, Ž.; KEČEK, D. Economic effects of wind power plant deployment on the Croatian economy. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1881, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en11071881>. Acesso em: 21 maio 2023.

OLIVEIRA, A. M.; SELLITTO, M. A.; SOUZA, J. F. Impactos econômicos, sociais e ambientais da geração de energia eólica em comunidades do Rio Grande do Norte. **REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 12, n. 4, p. 107-119, 2022. Disponível em: <https://www.reunir.revistas.ufcg.edu.br/index.php/uacc/article/view/1449>. Acesso em: 20 jul. 2023.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 1082-1100, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2064>. Acesso em: 20 maio 2023.

RESENDE, B. C. M. **O efeito da implantação de usinas eólicas sobre o preço de aluguéis**. 2015. Disponível em: http://ftp.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/Bruno_Cesar_Mariano_Resende.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

RINTZEL, L. T.; ALVES, T. W.; MASSUQUETTI, A. Análise dos impactos econômicos decorrentes da instalação dos parques eólicos nos municípios da Região Sul do Brasil. **Tópicos em Administração**, v. 39, p. 52, 2017. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/adm/volume39/Topicos_em_Administracao_vol39.pdf. Acesso em: 11 jul. 2023.

RODRIGUES, R. E. de A. **Efeitos da construção de parques eólicos sobre indicadores econômicos e fiscais dos municípios brasileiros**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/40002>. Acesso em: 09 jul. 2023.

RODRIGUES, T. A. P.; GONÇALVES, S. L.; CHAGAS, A. S. Wind power and the labor market in the Brazilian Northeast: a spatial propensity score matching approach. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 13, n. 3, p. 357-378, 2019. Disponível em: <https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/503>. Acesso em: 25 jul. 2023.

SAMPAIO, M. A. dos S. **A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65560>. Acesso em: 25 jul.

2023.

SANT'ANNA, P. H. C.; ZHAO, J. Doubly robust difference-in-differences estimators. **Journal of Econometrics**, v. 219, n. 1, p. 101-122, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.06.003>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SANTOS, P. E. de L.; ARAÚJO, F. J. C. O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 6, p. 2978-2989, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10487>. Acesso em: 06 dez. 2023.

SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10092012-095724/en.php>. Acesso em: 18 jul. 2023.

SOUZA, V. C. M. de. **Análise dos impactos positivos obtidos com implementação de usinas eólicas**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/42e6dc02-e3b4-4df3-9a10-99ce-7b8a5eda>. Acesso em: 30 jun. 2023.

SUN, L.; ABRAHAM, S. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. **Journal of Econometrics**, v. 225, n. 2, p. 175-199, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.09.006>. Acesso em: 29 maio 2023.

TEIXEIRA, A.; VENTER, Z. Is macroprudential policy driving savings?. **REM Working Paper Series**, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/40748>. Acesso em: 28 jul. 2023.

XIA, F.; SONG, F. Evaluating the economic impact of wind power development on local economies in China. **Energy Policy**, v. 110, p. 263-270, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.030>. Acesso em: 25 maio 2023.

APÊNDICE A – EFEITOS DESAGREGADOS DAS EÓLICAS

Tabela 5 – Efeito das eólicas por grupo

Variável Dependente	Renda	Agricultura	Indústria	Construção	Serviços	Comércio	Outras	Impostos	Gini
Grupo									
2004	135,02*** (36,06)	63,89*** (9,84)	216,73*** (15,53)	209,47*** (15,34)	-303,69*** (23,74)	-119,61*** (6,68)	68,22*** (7,12)	50687,58*** (4264,56)	-0,08*** (0,004)
2006	480,02*** (45,75)	347,25*** (13,29)	699,40*** (17,27)	-335,05 17,24	-165,86*** (30,82)	-145,95*** (14,86)	80,24*** (7,98)	20808,66*** (1011,03)	-0,03*** (0,004)
2008	680,84** (319,66)	57,62** (22,72)	405,02 (250,47)	299,86*** (111,99)	-25,84 (53,75)	-37,39** (17,56)	-18,43 (26,69)	-16791,44 (21055,80)	-0,06*** (0,02)
2009	719,17 (666,82)	198,98*** (66,39)	27,46 (161,74)	702,82 (446,79)	-119,63 (136,65)	-5,35 (34,45)	-85,12 (94,33)	-96849,04*** (30897,71)	-0,06*** (0,004)
2010	2242,83 (1511,87)	84,02*** (31,41)	1430,53 (1230,83)	439,72** (174,83)	167,68 (142,34)	57,28 (38,13)	63,59** (29,63)	19488,6 (63923,03)	-0,01*** (0,004)
2011	15,06 (106,99)	94,70 (84,79)	57,05 (91,85)	132,67* (69,56)	-16,30 (37,22)	-8,43 (9,32)	-244,63** (112,11)	1443282 (1145089)	-0,0005 (0,01)
2012	1227,95*** (223,48)	-53,75 (124,36)	192,08 (315,02)	341,02** (168,67)	467,359*** (107,27)	49,95 (50,99)	231,32*** (29,50)	413560,5 (287571,2)	0,01 (0,01)
2013	873,22 (613,10)	99,65*** (35,33)	579,42* (341,73)	147,50 (364,58)	-37,25 (86,62)	41,33 (25,68)	42,58 (62,10)	91734,31 (57634,96)	0,001 (0,01)
2014	1621,23*** (480,86)	319,44** (137,11)	648,55 (471,74)	332,72 (230,55)	264,73 (223,16)	0,58 (14,70)	55,20 (39,04)	69718,91* (41055,56)	0,01 (0,01)
2015	913,97 (724,43)	44,34 (92,22)	-109,88 (529,62)	672,79* (351,72)	292,70 (192,22)	3,92 (25,56)	10,10 (63,64)	16635,1 (37311,74)	-0,01 (0,01)
2016	280,44* (164,89)	21,60 (42,12)	41,96 (79,73)	84,08 (137,40)	136,03 (97,78)	-1,76 (14,36)	-1,47 (31,45)	36908,86 (40202,99)	0,01** (0,004)
2017	590,77 (428,08)	-72,55 (100,88)	1,38 (238,88)	468,73 (310,93)	181,42* (96,03)	-0,83 (17,51)	12,61 (68,98)	-138342,7* (75501,4)	0,002 (0,01)
2018	-1511,10 (1774,09)	149,91 (98,27)	-1742,59 (1581,07)	-156,73 (307,95)	317,45 (229,92)	-7,26 (49,66)	-71,88 (95,16)	42737,92 (28869,2)	-0,006 (0,006)
2020	-6,51 (2669,00)	-288,44* (164,55)	-293,51 (1246,96)	626,26 (1241,79)	-111,61*** (29,80)	7,98 (22,89)	52,81*** (20,35)	15420,66*** (2527,80)	0,01 (0,02)

Tabela 6 – Efeito das eólicas por ano calendário

Variável Dependente	Renda	Agricultura	Indústria	Construção	Serviços	Comércio	Outras	Impostos	Gini
Ano									
2004	-210,77*** (31,14)	-55,91*** (5,64)	16,17*** (4,65)	20,81 (21,84)	-330,19*** (18,72)	110,95*** (7,31)	27,40*** (4,34)	-6505,78*** (1245,55)	0,006 (0,004)
2005	-107,29*** (28,70)	-84,72*** (7,69)	39,93*** (6,38)	31,16 (19,58)	-234,65*** (17,44)	99,72*** (6,25)	41,27*** (5,71)	-14474,08*** (1812,42)	-0,006 (0,004)
2006	-113,22*** (21,34)	0,1595237 (26,66)	219,38*** (67,24)	-166,78 (160,81)	-117,14 (112,25)	-39,99 (33,53)	-8,85 (14,47)	-6912,43 (5866,16)	-0,04** (0,02)
2007	-468,05*** (277,71)	136,96** (57,78)	21,19 (60,51)	-375,15 (313,35)	-129,03* (70,79)	-124,43*** (10,85)	2,41 (24,02)	-5042,88 (7286,01)	-0,03*** (0,01)
2008	132,05 (94,47)	-5,23 (35,11)	89,55*** (34,13)	1,40 (52,58)	9,16 (37,03)	-28,48* (15,64)	65,65 (76,98)	-5368,03** (2698,11)	-0,02 (0,02)
2009	146,95 (95,25)	16,35 (34,16)	137,59 (92,79)	96,70 (73,03)	-50,96 (41,77)	-51,79*** (18,49)	-0,94 (20,24)	5633,37 (4334,59)	-0,03*** (0,01)
2010	144,99 (128,68)	3,78 (24,30)	207,78** (104,53)	115,90 (111,98)	-102,10** (43,62)	-58,67*** (18,58)	-21,70 (22,48)	-16253,75 (13377,92)	-0,03** (0,01)
2011	239,08 (229,70)	53,34 (34,52)	172,71 (207,31)	96,85 (64,87)	-29,12 (49,98)	-41,95** (19,01)	-12,76 (19,43)	6435,23 (29122,95)	-0,05*** (0,01)
2012	515,12* (302,77)	79,75** (37,86)	229,34 (189,22)	264,03 (229,36)	-65,61 (58,87)	-28,44** (14,36)	36,05* (20,93)	38285,98 (48778,38)	-0,03*** (0,01)
2013	566,83** (279,90)	70,31** (34,70)	297,12 (184,32)	204,42 (142,77)	9,68 (50,59)	-35,98** (17,75)	21,27 (31,34)	44601,63 (45496,33)	-0,03*** (0,01)
2014	770,30*** (299,71)	75,67** (31,27)	407,57* (238,35)	198,88** (101,38)	115,54 (90,41)	-28,82* (16,38)	1,45 (31,99)	32971,39 (31518,32)	-0,02** (0,01)
2015	1144,48*** (403,10)	114,32*** (40,12)	363,49 (260,98)	549,29** (274,41)	84,07 (64,09)	18,32 (21,46)	14,99 (29,33)	30685,19 (22832,07)	-0,01 (0,01)
2016	1134,38*** (289,38)	108,96** (48,93)	335,76* (171,76)	528,95*** (162,72)	124,55* (64,31)	18,35 (15,93)	17,81 (29,01)	26699,02 (16570,28)	-0,01** (0,006)
2017	954,19*** (261,14)	80,20* (45,05)	250,35 (177,57)	392,30*** (139,10)	187,834** (81,48)	2,50 (13,35)	40,98 (25,19)	82418,27 (65388,36)	-0,002 (0,005)

Variável Dependente	Renda	Agricultura	Indústria	Construção	Serviços	Comércio	Outras	Impostos	Gini
Ano									
2018	1134,94*** (329,00)	121,02** (55,53)	228,13 (238,70)	450,34*** (173,59)	271,47** (106,83)	26,16* (14,09)	37,81 (26,71)	117951,7 (96001,19)	-0,006 (0,005)
2019	696,17* (358,58)	65,67 (42,99)	233,02 (258,93)	289,07 (187,33)	135,65* (69,39)	-4,31 (16,14)	-22,93 (36,04)	140260,4 (98140,79)	-0,01** (0,005)
2020	826,23*** (317,90)	67,55* (38,56)	355,66 (250,88)	181,75 (111,27)	192,24*** (71,44)	-3,88 (15,59)	32,90 (31,73)	181598,7 (120134,1)	-0,01** (0,01)

Tabela 7 – Efeito das eólicas por tempo decorrido (Efeitos dinâmicos)

Variável Dependente	Renda	Agricultura	Indústria	Construção	Serviços	Comércio	Outras	Impostos	Gini
t									
1	378,11* (227,91)	27,91 (37,58)	13,89 (178,61)	246,23** (101,85)	96,794** (48,75)	6,08 (12,50)	-12,80 (29,14)	11646,69 (23500,55)	0,002 (0,005)
2	688,48** (286,72)	86,22 (53,82)	-50,57 (188,63)	404,99** (186,52)	206,57*** (65,06)	6,84 (10,14)	34,44 (21,99)	14599,56 (25344,75)	-0,004 (0,005)
3	812,57*** (283,38)	73,49* (38,99)	150,66 (170,82)	324,99* (195,89)	236,01*** (91,28)	6,03 (14,37)	21,39 (26,98)	15683,94 (26717,21)	-0,01 (0,006)
4	579,54** (236,53)	101,96** (42,47)	190,83 (176,65)	51,47 (109,23)	219,26** (110,86)	-13,06 (19,39)	29,07 (30,27)	44493,55 (29802,52)	-0,004 (0,006)
5	1143,51*** (372,74)	87,56* (51,108)	633,15** (295,46)	214,76 (141,87)	198,08** (87,63)	7,06 (19,00)	2,89 (39,53)	120362,6** (60785,47)	-0,01** (0,007)
6	1275,29*** (342,39)	145,95** (57,87)	837,61*** (240,86)	137,18 (107,99)	91,63 (88,00)	-9,91 (23,04)	72,83 (44,79)	218431,9* (115994,7)	-0,02** (0,01)
7	1465,40** (572,86)	72,10 (55,51)	718,18** (347,51)	538,80* (294,23)	75,76 (117,36)	9,40 (26,94)	51,16 (41,27)	431311 (275783,1)	-0,03*** (0,01)
8	1641,69** (678,27)	160,59** (68,73)	903,36* (485,79)	443,15** (175,89)	92,97 (109,12)	17,01 (34,73)	24,60 (73,40)	447483 (331402,1)	-0,03*** (0,01)
9	1748,30** (866,90)	209,75*** (42,80)	1061,73 (743,64)	590,91*** (154,88)	-87,54 (83,50)	-12,95 (26,66)	-13,60 (43,57)	435394,3 (504271,8)	-0,05*** (0,01)
10	1759,94** (854,04)	190,65*** (45,38)	1139,65 (710,03)	521,73*** (157,49)	-25,36 (110,06)	-6,42 (37,11)	-60,31* (31,86)	-21184,46 (88797,6)	-0,06*** (0,01)
11	956,80 (589,33)	82,23 (76,44)	649,00* (360,26)	400,74 (245,03)	-109,34 (89,47)	-33,02 (28,76)	-32,80 (53,66)	-50566,63 (48184,43)	-0,07*** (0,02)
12	1379,02** (574,37)	74,95 (97,85)	697,11** (355,20)	661,00** (274,05)	-86,32 (70,26)	-42,36* (24,475)	74,64 (68,84)	14660,58 (49004,08)	-0,07*** (0,02)
13	441,08*** (136,95)	240,40*** (50,89)	256,44*** (43,63)	300,47** (148,39)	-309,08*** (35,621)	-240,25*** (26,269)	193,11*** (39,05)	109544*** (41524,6)	-0,07*** (0,01)
14	717,11*** (75,90)	322,99*** (21,70)	470,31*** (46,96)	277,71 (190,98)	-275,80*** (46,60)	-159,18*** (41,63)	81,08 (99,54)	167558,1** (84496,19)	-0,07*** (0,02)
15	1290,64*** (70,05)	188,81*** (21,06)	405,47*** (31,99)	424,14*** (37,29)	372,63*** (33,41)	-199,45*** (11,542)	99,03*** (14,27)	309904,7*** (13573,53)	-0,10*** (0,004)
16	1236,21*** (64,13)	170,82*** (22,48)	344,71*** (28,79)	250,61 (32,58)	342,72*** (36,97)	81,51*** (10,28)	45,82*** (17,63)	243046,6*** (14155,35)	-0,09*** (0,004)

RENEGOCIAÇÃO E ARBITRAGEM NO SETOR DE INFRAESTRUTURA: EVIDÊNCIAS DAS CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS NO BRASIL

Renegotiation and arbitration in the infrastructure sector: evidence from federal highway concessions in Brazil

André Luiz Gomes da Silva

Engenheiro Eletricista. Mestre em Economia. Vice-Presidente de Regulação e Mercado. Copel. Rua Prof Roberto Magalhães Randi, 30, 13098-552, Campinas, São Paulo, Brasil. andgomes.pqt@gmail.com.

Guilherme Mendes Resende

Economista e Advogado. PhD em Economia. Professor Titular do Mestrado de Economia do Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa. Setor de Grandes Áreas Sul II St. de Grandes Áreas Sul 607, Asa Sul, Brasília, DF, 70200-670. guilhermeresende@icloud.com

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar quais fatores influenciam os pedidos de renegociação dos contratos de concessão pelos concessionários no setor de rodovias federais, via instrumento de arbitragem, junto à administração pública federal. Para o estudo, foram utilizados dados entre os anos de 1996 e 2022, com as atuais 28 concessionárias de rodovias federais. Foi utilizado um modelo econométrico do tipo *probit/logit*, em que se descreve a relação entre uma variável dependente, do tipo binária, que no caso em questão são os pedidos de renegociação via arbitragem solicitados pelas concessionárias, e algumas variáveis explicativas. Após avaliação, percebe-se que são várias as combinações de fatores que podem influenciar os pedidos de arbitragem, mas as variáveis que são mais significativas estatisticamente na modelagem proposta são financiamento público, prazo do contrato de concessão, tempo de operação da concessão e índice de retorno sobre o ativo (ROA). Ou seja, são os fatores que influenciam o ingresso, pelo concessionário, com pedido de renegociação do contrato via arbitragem.

Palavras-chave: arbitragem, contratos de concessão, setor de rodovias.

Abstract: The objective of the study was to assess which factors influence the requests for contract renegotiation by concessionaires in the federal highways sector, through arbitration with the federal public administration. For the study, data from 1996 to 2022 were used, involving the current 28 federal highway concessionaires. An econometric model of the *probit/logit* type was employed, which describes the relationship between a dependent binary variable, which in this case refers to the renegotiation requests via arbitration submitted by the concessionaires, and several explanatory variables. The analysis shows that there are various combinations of factors that can influence arbitration requests, but the variables that are most statistically significant in the proposed model are public funding, concession contract term, concession operating time and return on assets (ROA) index. In other words, these are the factors that influence the concessionaire's initiation of a renegotiation request via arbitration.

Keywords: arbitration, concession contracts, federal highways sector.

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes discussões existentes no setor de infraestrutura brasileiro é a judicialização dos contratos com a consequente demora na solução do litígio em função da alta carga de processos que inundam atualmente o Poder Judiciário. Dados de 2021 do Relatório Justiça em Números (CNJ, 2022) demonstram o tempo médio de um processo baixado na Justiça Federal, órgão do Poder Judiciário com maior concentração dos litígios envolvendo os contratos de infraestrutura administrados pela União Federal. E os números são impressionantes, pois entre o primeiro grau de jurisdição, passando pelo segundo grau, execução judicial e eventual recurso, o tempo médio para baixa de um processo é de aproximadamente 7 anos.

Ao se avaliar outras formas de solução de conflitos, uma das principais ferramentas trazidas como opção é a arbitragem. Segundo Schmidt e Bruxellas (2022), a arbitragem, por trazer mais rapidez na solução do conflito, com decisões tomadas em bases estritamente técnicas, tem o condão de trazer maior previsibilidade, tanto pelo tempo envolvido na decisão quanto pelo conteúdo.

Dada a realidade fática da falta de estudos quantitativos a respeito da utilização da arbitragem, o presente artigo tem como objetivo trazer uma primeira avaliação de tal mecanismo utilizado na resolução de controvérsias pela Administração Pública. E, para ser mais específico, busca responder à seguinte questão: quais fatores influenciam, e em que grau, os pedidos de renegociação de contratos de concessão no setor de infraestrutura por meio de arbitragem, com evidências no setor de rodovias?

Segundo Gausch *et al.* (2008), as regras de arbitragem são processos que estimulam a resolução de disputas, tornando a renegociação menos onerosa, ou seja, poderia se esperar, assim, que a existência de regras formais de arbitragem aumentaria a probabilidade de renegociação. Já no estudo ora proposto, o fato de as renegociações em análise já terem sido objeto de pedido de arbitragem faz com que necessariamente se parta do pressuposto da existência de cláusulas de arbitragem nos contratos e, dessa forma, outras variáveis serão avaliadas para verificação da influência nos pedidos de renegociação, dentre elas: tempo de operação da rodovia, a existência de financiamento público, retorno sobre o ativo (ROA), existência de processos judiciais, termos de ajuste de conduta e investimentos na concessão.

Nesse sentido, o presente estudo traz uma avaliação de quais fatores influenciam os pedidos de renegociação de contratos de concessão por meio de arbitragem realizados pelas concessionárias de rodovias, como forma de solução de conflitos nos contratos de infraestrutura no âmbito da administração pública federal entre 1996 e 2022. A utilização da arbitragem como meio de solução de conflitos pode trazer benefícios econômicos, e, na visão de Lemes (2018), a cláusula de arbitragem em contratos da Administração Pública é mais do que uma cláusula jurídica para solução de conflitos, mas uma cláusula econômico-financeira dos contratos, haja vista que proporciona economicidade e eficiência.

O presente estudo está estruturado, além desta introdução, em uma seção que trata da revisão da literatura, seguida da terceira seção, que descreve a metodologia proposta, bem como a base de dados utilizada. A análise de resultados e as conclusões do artigo serão apresentadas na quarta e quinta seções, respectivamente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A literatura sobre arbitragem destaca, entre os fatores que orientam sua escolha, o tempo de decisão do litígio. Ao avaliar sob a perspectiva pura do Direito, principalmente no Brasil, serão várias as análises qualitativas a respeito das vantagens do método. Como bem apontado por Grotti (2018), o processo arbitral traz as seguintes vantagens para Administração Pública: (i) celeridade, em detrimento do recurso ao Poder Judiciário para temas de complexidade técnica; (ii) conhecimento técnico e científico do árbitro; (iii) método alternativo de solução; e (iv) segurança aos investidores. Ao mesmo tempo, Grotti (2018) tece algumas críticas, dentre as quais a real independência dos árbitros e a eventual preferência aos interesses privados, bem como a falta de mecanismos para garantir jurisprudência nas decisões e o *accountability*.

Em relação aos contratos de concessão de infraestrutura, é importante mencionar a aplicabilidade do referido mecanismo aos contratos, tendo a União como interveniente. Conforme Albuquerque e Car-

doso (2021), desde a Lei 8.987 de 1995 (Lei das Concessões) já havia previsão, ainda que não explícita, para formas de solução de divergências contratuais que não somente a via judicial. Ora, dentre os modos de solução de divergências contratuais, encaixa-se perfeitamente o instrumento da arbitragem. A Lei nº 13.129 de 2015 alterou a Lei de Arbitragem nº 9.307 de 1996 para incluir a possibilidade de a administração pública utilizar o mecanismo da arbitragem. No entanto, foi com a edição da Lei nº 13.448 de 2017 que se explicitou a possibilidade de que controvérsias surgidas nos contratos dos setores rodoviário, ferroviário e aeroportuário da administração pública federal pudessem ser submetidas a arbitragem. Em 2019, para regulamentar o mecanismo de arbitragem na administração pública federal, especificamente nos setores portuário e de transportes rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroportuário, foi editado o Decreto nº 10.025.

A partir do arcabouço legal acima mencionado, muitos contratos de infraestrutura começaram a ter suas renegociações discutidas em câmaras de arbitragem. Somente no setor de transportes, oito dos vinte e oito concessionários de rodovias federais, ou cerca de 30%, ingressaram em um procedimento de arbitragem como forma de renegociar seu contrato de concessão. Esse mesmo fenômeno acontece em contratos de concessão de outros serviços públicos, o que leva ao questionamento sobre quais os fatores que incentivam os concessionários a utilizarem a arbitragem como meio de renegociação de seus contratos.

Importante ressaltar que, quando se analisa o mecanismo de arbitragem em outros países, é possível encontrar alguns estudos que trazem uma abordagem quantitativa, como Guasch *et al.* (2008), que analisa o impacto da variável arbitragem e de inúmeras outras variáveis nas renegociações de contratos de concessão ocorridas na América Latina através de uma modelagem *probit*¹. Por sua vez, o estudo de Weinstein (2017) apresenta os benefícios econômicos da arbitragem comparada com os processos judiciais civis na Corte dos Estados Unidos, através de uma análise de perdas econômicas pelo tempo adicional de julgamento na Justiça americana no período compreendido entre 2011 e 2015. Ainda, Cruz *et al.* (2013) utilizam o modelo *probit* para analisar as renegociações de concessões de infraestrutura pública em Portugal.

No entanto, no Brasil, a análise quantitativa ainda é pouco explorada e, com a edição da Lei nº 13.448 de 2017, bem como do Decreto nº 10.025, e com a utilização mais frequente do mecanismo da arbitragem pelos concessionários de infraestrutura pública, faz-se necessária uma avaliação sobre como e quais variáveis podem influenciar os pedidos de arbitragem nas renegociações contratuais com o Poder Concedente, e com isso trazer eventual benefício em um cenário que pode vir a desencorajar os litígios judiciais. Ainda, como consequência, eventualmente pode vir a subsidiar os formadores de políticas públicas a inserir outros setores de infraestrutura não abarcados na legislação específica, bem como a eventualmente aprimorar os ritos existentes atualmente para instauração de arbitragem entre os setores de infraestrutura e o Poder Concedente.

Como abordado acima, a literatura nacional, em que pese ser de altíssima qualidade, tem uma abordagem bastante qualitativa a respeito do tema arbitragem *versus* litígios judiciais, pois ainda prevalecem abordagens subjetivas, com viés quase que exclusivamente jurídico, não econômico. Já na literatura internacional, além da abordagem jurídica clássica, é possível encontrar algumas abordagens econômicas em relação ao tema, razão pela qual a seção é subdividida em duas, uma com uma revisão da literatura nacional e outra com uma revisão da literatura internacional. É possível observar que o presente artigo não tem similaridade com nenhum estudo nacional, o que demonstra o seu ineditismo. Por sua vez, em relação à literatura internacional, o trabalho de Guasch *et al.* (2008) é inspiração para a análise que será detalhada nas próximas seções.

2.1 Literatura nacional

Uma interessante abordagem é realizada por Schmidt e Bruxellas (2022), baseada na teoria dos custos de transação, ou seja, em seu estudo, em síntese, eles buscam contrastar o tempo de demora dos

¹ Modelo *probit* admite a função de distribuição normal para expressar a relação não linear entre as probabilidades estimadas da variável dependente e as variáveis explicativas. O modelo é utilizado para descrevermos a relação entre uma variável binária ou dicotômica e uma ou mais variáveis explicativas, conforme Costa (2010).

processos judiciais com o observado na arbitragem, com o objetivo de demonstrar os benefícios pela utilização desse último pela Administração Pública. Ainda, Schmidt e Bruxellas (2022) apresentam dados do tempo médio de tramitação tanto da arbitragem quanto do processo judicial e concluem que o tempo médio para a resolução de um conflito por meio da arbitragem é menor do que na Justiça. Apesar dos autores mencionarem que o estudo se baseia na teoria dos custos de transação, a conclusão do trabalho é fundamentada de forma qualitativa, baseada em observação de dados, não trazendo uma valoração econômica, ou em um modelo econométrico capaz de suportar a conclusão.

Outra abordagem interessante é feita por um artigo da FGV CERI e The World Bank (2017), que traz um recorte da arbitragem nos setores regulados antes da edição da Lei nº 13.448/2017, levando em consideração, portanto, as diversas legislações anteriores que já previam a possibilidade, mesmo que de forma não explícita, de utilizar meios alternativos de solução de controvérsias. Nesse recorte, são ponderadas as diversas características mais valorizadas e menos valorizadas na arbitragem, além de uma estimativa de que os processos arbitrais deveriam terminar em um período de seis meses. Adicionalmente, alertavam que um investidor em um mercado emergente tenderia a avaliar um contrato de concessão com maior risco, ou exigir maior taxa de retorno, caso uma decisão incorreta do regulador (na perspectiva do mercado) fosse levada a uma corte arbitral e ainda assim fosse mantida por essa corte. Ou seja, em tese, a inserção da cláusula de arbitragem nos contratos de concessão, apesar de ser um mecanismo opcional, ao ser acionada, traz um caráter de ter que ser executada de forma transparente e técnica, podendo aumentar a percepção de risco do investidor.

Alves e Fernandes (2014) trazem uma interessante análise econômica do instituto da arbitragem nos contratos. Em suma, a análise é iniciada pela Teoria Econômica dos Contratos, especificamente no fato de que o inadimplemento contratual ocorre quando o não cumprimento do contrato é mais vantajoso do que cumpri-lo, ou seja, a penalidade gera menos custos do que seu cumprimento. Ainda nesse ponto, os autores abordam que o Poder Judiciário vem tratando de forma equivocada a função social do contrato ao beneficiar a parte mais fraca, mesmo que esta esteja “errada”, e esse é o primeiro fator em que a arbitragem é vantajosa, pois os árbitros são especializados e livres de influências políticas². Após essa análise, eles fazem uma abordagem sobre a Teoria dos Custos de Transação aplicada sob a perspectiva da arbitragem e concluem que a assimetria de informações prejudica a formação de contratos completos, ao ponto de conseguir prever toda e qualquer eventualidade que possa surgir ao longo de sua execução e, portanto, torna-se inevitável a previsão de cláusulas com métodos de solução de conflitos, tais como a arbitragem. A previsão de cláusula de arbitragem na visão de Alves e Fernandes (2014) é um incentivo para o cumprimento do contrato, dado que tem a previsão de solução de conflito de forma mais célere e especializada e é uma ferramenta capaz de diminuir custos de transação no tocante à solução de conflitos, além de incentivar o cumprimento do contrato, o que também maximiza os ganhos na relação comercial entre as partes.

No mesmo sentido, Pugliese e Salama (2008) aprofundam a análise dos incentivos econômicos da arbitragem, fundamentalmente sobre um dos pontos abordados por Alves e Fernandes (2014) que é a redução dos custos de transação, e sobre um segundo ponto que é sobre a arbitragem *ex ante facto* e *ex post facto*. Sobre os custos de transação, Pugliese e Salama (2008) analisam que quando as partes incluem a arbitragem como forma de solução de controvérsias, elas estão diminuindo o risco de comportamento oportunista na execução do contrato, dado que com a existência dessa previsão já existe a expectativa de decisões mais ágeis em casos de conflitos. Além disso, essa maior confiança irá reduzir os custos de transação, dado que diminui o risco de a parte inadimplente se beneficiar da morosidade dos processos judiciais. Já com relação à arbitragem *ex ante facto* e *ex post facto*, em síntese, significa que as partes podem optar pela arbitragem antes ou depois do surgimento do conflito. Segundo os autores, a arbitragem *ex ante facto* é mais vantajosa, já que na *ex post facto* é impossível maximizar os ganhos com eventual adimplemento contratual, dado que o conflito já foi originado, restando apenas os custos de transação.

² Importante mencionar que existe bastante discussão a respeito das vantagens e desvantagens da arbitragem e em específico quanto à escolha e imparcialidade dos árbitros e eventual influência externa. Flausino (2015) observa que no caso da arbitragem envolvendo a administração pública, a legislação, de certa forma, concedeu discricionariedade na escolha do árbitro ao administrador, e o exercício dessa discricionariedade pode abrir espaço para eventuais fraudes e desvios.

2.2 Literatura internacional

A análise do benefício econômico da arbitragem pode ser realizada de diversas maneiras, e tudo vai depender dos dados disponíveis para avaliação. No caso do estudo conduzido por Guasch *et al.* (2008), o autor tenta mensurar a influência de diversas variáveis na renegociação de contratos ocorrida na América Latina nos setores de água e transporte entre 1989 e 2000, para avaliar a motivação da alta incidência de renegociação nos referidos contratos. Para tanto, realizou uma análise detalhada do impacto na probabilidade de renegociação das instituições, incluindo fatores econômicos e algumas características dos contratos de concessão. O modelo de Guasch *et al.* (2008) utilizou diversas variáveis, dentre elas uma que indicava se existia processo de arbitragem previsto nos contratos para solução de controvérsia entre o concessionário e o governo. O modelo adotado foi o *probit* e, especificamente para variável arbitragem, o resultado foi estatisticamente não significativo. De toda sorte, é uma das poucas modelagens com modelo *probit* que explora a variável arbitragem em renegociação de contratos de infraestrutura.

Uma outra avaliação utilizando o modelo *probit* foi apresentada por Cruz *et al.* (2013) para analisar a renegociação de contratos de concessão de infraestrutura pública em Portugal. O modelo proposto utilizou diversas variáveis explicativas que impactam o risco ou a probabilidade de renegociação. O estudo de Cruz *et al.* (2013) não utilizou especificamente uma variável de existência de cláusula de arbitragem nos contratos, mas utilizou variáveis relacionadas à existência de agência reguladora quando da assinatura do contrato, por exemplo. O fato é que se trata de mais um modelo que utiliza o modelo *probit* para estimar quais variáveis influenciam na renegociação de contratos e, no caso específico do modelo desenvolvido para os contratos de Portugal, traz resultados importantes relacionados à maturidade da regulação, pois mostra que uma agência reguladora mais madura acarreta menor renegociação de contratos, e a existência de agência reguladora quando da assinatura dos contratos também influencia em uma menor renegociação.

Por sua vez, Guasch (2004) traz em livro publicado pelo World Bank uma contextualização extremamente detalhada acerca da renegociação dos contratos de infraestrutura. Ele fornece numerosos exemplos de renegociações em acordos público-privados. Ao estudar mais de 1.000 contratos público-privados de longo prazo assinados em países latino-americanos entre 1980 e 2000, Guasch descobriu que 78% dos contratos de transporte e 92% dos contratos de água e esgoto foram renegociados. As conclusões de Guasch também mostram que as renegociações ocorrem logo após o início do contrato (em média, após 2,2 anos) e muitas vezes favorecem a parte privada.

Especificamente no tocante à arbitragem, Guasch (2004) menciona que os contratos de concessão devem determinar como lidar com os litígios em caso de rescisão do contrato e que, apesar de eventualmente não ser possível nesse caso específico a utilização de tal mecanismo, poderia ser utilizado, por exemplo, um painel de peritos para dirimir eventual conflito. Ainda, menciona que regras de arbitragem deveriam ser definidas para dirimir conflitos entre concessionários, governo e regulador, mesmo que para implementações de decisões provisórias enquanto se aguarda o julgamento na justiça.

Outro importante estudo foi realizado por Weinstein (2017), acerca dos benefícios econômicos da Resolução de Disputas por Arbitragem comparada com os processos judiciais na Corte Americana. No referido estudo, para o período compreendido entre 2011 e 2015, são utilizadas duas abordagens: a primeira de consequências econômicas diretas; e na segunda, além das consequências diretas, também são consideradas as consequências indiretas ou induzidas. Para o referido estudo, foram tabulados os dados do tempo do processo judicial na Corte Americana, sem e com recurso de apelação, e o tempo dos procedimentos arbitrais em uma Câmara Arbitral, no mesmo período. Foi estimado, ainda, um valor médio para cada um dos litígios, e com base no tempo adicional gasto nos processos judiciais, associado a uma taxa de retorno de investimentos (estimada pelo S&P 500 para o mesmo período), foram calculadas as perdas totais associadas a esse “atraso” no julgamento. Como resultado, Weinstein (2017) conclui que considerados o tempo, a apelação e os custos indiretos, as perdas totais dos processos judiciais foram entre US\$ 51,9 e US\$ 59,2 bilhões (ou US\$ 860 milhões por mês).

Um estudo conduzido pelo World Bank (2010) traz uma abordagem metodológica interessante so-

bre indicadores de Arbitragem em Disputas Comerciais, que compreendem medidas das características de leis e regulamentos e sua implementação. O estudo concluiu, por intermédio dos indicadores, que a maioria dos países observados reconhecem a importância de um regime de resolução de disputas alternativas eficiente e estável para atração de investimento estrangeiro.

A avaliação de benefício econômico da arbitragem não é tão simples de ser feita, e muitas vezes verificam-se análises muito qualitativas e pouco quantitativas. Uma abordagem interessante foi realizada por Hylton (2008), que analisou sob a ótica das implicações de bem-estar e da informação das partes. Em síntese, ele conclui que as partes entrarão em soluções de conflitos via arbitragem somente quando a margem entre os benefícios da dissuasão e os custos de resolução de disputas for maior sob o regime arbitral. Ainda, conclui que os resultados sugerem uma presunção a favor das resoluções de conflito oriundas da arbitragem, principalmente quando as partes são informadas.

Sob o ponto de vista dos aspectos qualitativos, Alsaïat (2015) traz as vantagens e desvantagens da arbitragem nos contratos administrativos. Em síntese, lista as seguintes vantagens: (i) simplicidade e velocidade, principalmente quando se relativiza com o judiciário, pois a arbitragem é mais simples, fácil, flexível e de menor complexidade; (ii) tempo e custo, pois a arbitragem é decidida em um nível, diferentemente do judiciário, que tem muitos graus de recurso; (iii) boas relações entre os litigantes é uma tendência da arbitragem, por ser considerado um método de resolução do conflito em que o rito do procedimento é proposto por ambos, enquanto no caso do judiciário, normalmente os litigantes estão em lados opostos e em uma relação conflituosa; e (iv) confidencialidade, pois essa é uma condição essencial do processo de arbitragem. Já do lado das desvantagens: (i) falta de garantias judiciais na arbitragem, ou seja, ao mesmo tempo que é uma vantagem do ponto de vista do tempo do procedimento, o fato de não ter várias instâncias recursais pode se tornar uma desvantagem, pois após a decisão exaure-se a possibilidade de recursos; (ii) custo da arbitragem, listada como vantagem também na perspectiva da duração de um processo judicial, muitas vezes é apontada como desvantagem pelo alto custo em alguns processos arbitrais, principalmente os internacionais; (iii) falta de precedentes, ou seja, as decisões não servem como precedentes para outros casos.

Uma interessante abordagem foi realizada por Sarmento e Renneboog (2021), que avaliaram renegociações em Parcerias Público-Privadas (PPP) em Portugal. A abordagem realizada foi sob a perspectiva de quem toma a iniciativa da renegociação (o público ou o privado), sob a ótica da teoria do contrato e, também, da teoria da economia política. Do ponto de vista da teoria do contrato, as incertezas relacionadas à não execução do contrato, tais como duração e tamanho do investimento, aumentam a probabilidade de renegociações. Sob a perspectiva da teoria da economia política, esperam-se comportamentos oportunistas dos partidos políticos em períodos eleitorais, bem como das empresas privadas, sendo que as renegociações são intensificadas no período anterior às eleições, pois o governo espera ser recompensado por uma redução tarifária, por exemplo, de pedágios, e a parte privada também tende a utilizar o momento de forma oportunista.

Por fim, dois estudos investigam a frequência com que os contratos são renegociados. Com esse enfoque, Beuve e Saussier (2021) mostram que a probabilidade de renovação de um contrato público com o mesmo contratante é côncava nas renegociações, implicando que as partes contratantes podem tornar os contratos adaptáveis ao longo do tempo. Os autores utilizaram uma base de dados original de 252 contratos no setor de estacionamento francês para examinar como as renegociações influenciam a continuação das relações contratuais. Os resultados forneceram novos *insights* sobre a questão das renegociações, que geralmente já foram analisadas através do enfoque do comportamento oportunista. As evidências mostraram que, por um lado, uma elevada frequência de renegociações pode de fato levar a custos de transação mais elevados (e um potencial oportunismo) e, assim, influenciar negativamente a renovação de contratos. Mas, por outro lado, se as renegociações visarem adaptar os termos contratuais às suas novas condições de mercado e, assim, aumentar a eficiência, o efeito líquido poderá ser positivo.

Beuve *et al.* (2023) constroem um modelo teórico para um novo conjunto de hipóteses relativas à elevada taxa de renegociação de contratos públicos com base em riscos políticos de terceiros. Utilizando

uma modelagem econométrica de mínimos quadrados de dois estágios (2SLS) e uma base de dados de 293 acordos contratuais assinados pelo fornecedor líder de serviços de estacionamento em 58 departamentos (de 96) na região metropolitana da França, os autores encontram evidências de que os contratos públicos são renegociados entre 7% a 13% mais frequentemente do que os contratos privados (e que são comparáveis), devido à sua maior rigidez contratual, que é a forma como os agentes públicos minimizam os riscos de condutas oportunistas.

Na revisão de literatura, pode ser observado que existem diversas possibilidades de abordagem de avaliação dos motivadores para renegociações de contratos, especificamente no tocante à arbitragem. Não foram encontrados trabalhos comparativos sobre uma ou outra metodologia de avaliação, mas sim trabalhos pontuais para avaliações específicas, até porque o “Direito” entre os países tem muitas especificidades e particularidades que podem impedir uma forma única de avaliação. De toda sorte, de forma geral, a literatura demonstra o quão mais vantajosa a arbitragem é, e economicamente mais viável nas renegociações contratuais.

3 METODOLOGIA

3.1 Base de dados

A base de dados utilizada refere-se aos contratos de concessão com dados públicos, inclusive aqueles que não possuem procedimentos de arbitragem, e com informações mais detalhadas, incluídas as econômico-financeiras, referentes ao setor rodoviário federal constantes no sítio eletrônico da ANTT. Os dados completos são essenciais para análise de quais fatores influenciam nos pedidos de arbitragem.

Foi construída uma base de dados³ com base em informações públicas obtidas no site da ANTT⁴ com as atuais 28 concessionárias de rodovias federais abrangendo o período entre 1996 e 2022, além de informações adicionais obtidas em pesquisas sobre processos judiciais no site da Justiça Federal do Distrito Federal. A referida base de dados foi elaborada levando-se em consideração a base utilizada por Guasch *et al.* (2008) em seu estudo sobre as renegociações de concessões de serviço público de telecomunicações, energia, transporte e água nos países da América Latina e Caribe. Tal base de dados incluía a existência de órgão regulatório, mecanismo de *price cap*, duração do contrato, investimentos necessários, existência de financiamento privado, entre outras variáveis macroeconômicas e eleitorais. Nesse sentido, à luz do estudo de Guasch *et al.* (2008), a escolha dos dados para a presente modelagem levou em conta o que conceitualmente poderia influenciar na opção de um concessionário de rodovia federal em optar pela arbitragem para resolução de eventual conflito no contrato, bem como variáveis que poderiam levar à disputa em si.

3.1.1 Variáveis “dummy”

O primeiro conjunto de dados são das variáveis do tipo “dummy” (binárias) e que em tese podem indicar e/ou estimular um pedido pela renegociação de contrato, bem como indicar uma tendência a litigar pelo concessionário. São elas:

a) Pedido de arbitragem contra ANTT

A primeira variável indica se o concessionário ingressou (ou não) com pedido de arbitragem em relação a algum item do contrato de concessão ou do edital de licitação.

b) Financiamento público

Os programas de licitação de rodovias federais ao longo das últimas décadas tiveram a eles associadas linhas específicas de financiamento público, em especial linhas de financiamento do BNDES. Para se estipular os valores máximos de pedágio para as licitações, alguns pressupostos são adotados, tais como taxa de retorno e estrutura de capital, esta última dividida em capital próprio e de terceiros. Por

³ A base de dados utilizada neste estudo será disponibilizada mediante solicitação aos autores.

⁴ O histórico de todos os contratos de concessão está disponível para consulta em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/historico> (acesso em 01.07.2024).

óbvio, as empresas proponentes não são obrigadas a utilizarem exatamente as premissas adotadas, mas com relação às linhas de financiamentos disponíveis, cada um dos investidores pode fazer a assunção de financiamento de acordo com os programas disponíveis. Dessa forma, a variável em questão traz a informação de quais concessões tiveram financiamento público via BNDES.

c) Processos na justiça contra a ANTT

Esse indicador se refere aos concessionários que possuem pelo menos 1 processo na justiça discutindo pleitos contra a ANTT. Novamente, é uma variável que tende a indicar a busca por solução de demandas que não estão resolvidas sob a ótica da concessionária.

d) Termos de Ajuste de Conduta (TAC) com a ANTT

Essa variável é para indicar a existência de ao menos 1 TAC firmado com a ANTT. De novo, tem-se uma variável que demonstra a tendência de descumprimento reiterado do concessionário durante a execução do seu contrato de concessão.

3.1.2 Variáveis contínuas

O segundo conjunto de dados são as variáveis contínuas e inerentes aos contratos de concessão, com o objetivo de verificar as condições do contrato ao longo do tempo de sua concessão. São elas:

a) Prazo da concessão

Variável com o intuito de apresentar os prazos de concessão de cada rodovia.

b) Tempo de operação da concessão

Variável que indica o tempo que a concessão está em operação, considerada a data de corte em dezembro de 2022 para fins do modelo.

c) Investimentos na concessão

Variável obtida através dos dados públicos da ANTT com o volume de investimentos dos concessionários ao longo do contrato até 2022.

d) Índice de retorno sobre o ativo - ROA

Também obtido da base de dados de acompanhamento da ANTT e representa o quanto a concessão é rentável em relação ao seu total de ativos. O índice é uma média, sendo 2020 o último ano da série de dados.

Por fim, a Tabela 1 apresenta um resumo das variáveis descritas anteriormente, calculando a média para as variáveis que são contínuas e um quantitativo das variáveis binárias:

Tabela 1 – Variáveis para Modelagem

Variáveis		
Variáveis Dummy - Sim=1; Não = 0	Sim	Não
Pedido de Arbitragem contra a ANTT	8	20
Investimento Público	16	12
Processos na Justiça contra a ANTT	13	15
Termos de Ajuste de Conduta (TAC) com a ANTT	11	17
Variáveis Contínuas	Média	
Prazo da Concessão em anos	26,79	
Tempo de Operação da Concessão em anos	10,79	
Investimentos na Concessão em bilhões	1.42	
Índice de Retorno sobre o Ativo (ROA)	0,0144	

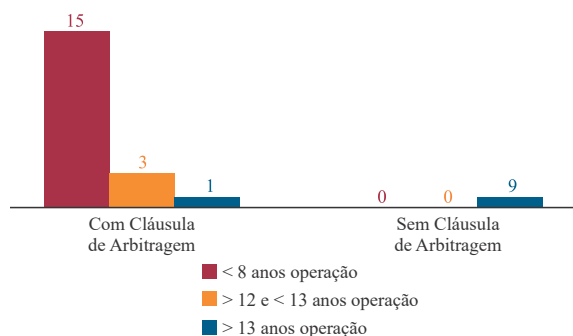
Fonte: Elaboração própria.

3.1.3 Análise preliminar dos dados utilizados

Antes de iniciar a abordagem da modelagem adotada, importante aprofundar com uma breve análise preliminar dos dados a serem utilizados no estudo. Para tanto, foi utilizada a tabulação de dados completa constante do Anexo I.

Uma primeira análise é referente à relação entre os contratos de rodovias federais com cláusula de arbitragem e o tempo de operação das rodovias. Como pode ser depreendido do Gráfico 1, os contratos de concessão com tempo de operação menor que 8 anos possuem cláusula de arbitragem, o que faz sentido, tendo em vista que a Lei nº 13.129, a qual alterou a lei de arbitragem para incluir a possibilidade de a administração pública utilizar a arbitragem, é de 2015, o que, ainda, no caso das rodovias, foi reforçado com a edição da Lei nº 13.448 de 2017, pois se explicitou a possibilidade de que controvérsias surgidas nos contratos dos setores rodoviário, ferroviário e aeroportuário da administração pública federal pudessem ser submetidas à arbitragem. Os 3 contratos com tempo de operação entre 12 e 13 anos tiveram a cláusula de arbitragem inserida em aditivos realizados recentemente, e o único contrato com tempo de operação acima de 13 anos e com cláusula de arbitragem é um contrato de 1996, ainda do DNER, uma raridade aliás, dado que se trata de um contrato de concessão da década de 90 com tal previsão.

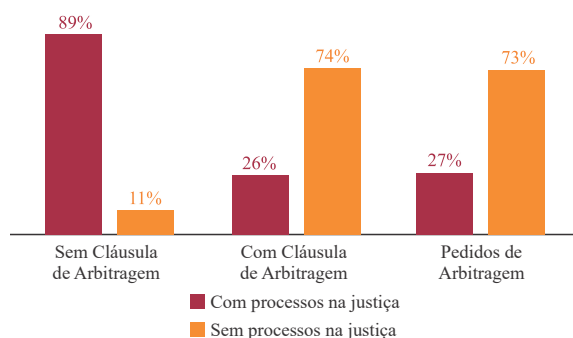
Gráfico 1 – Cláusula de Arbitragem nos Contratos de Rodovias Federais



Fonte: Elaboração própria.

Outra análise bastante relevante é em relação ao ingresso de processos na justiça pelas concessionárias de rodovias, pois quando existem cláusulas de resolução extrajudicial de conflitos, como a arbitragem, há de se esperar que sejam evitados os litígios.

Gráfico 2 – Contratos de Concessão com Processos na Justiça



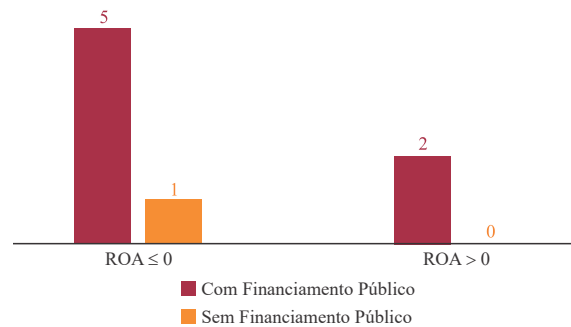
Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode ser verificado no Gráfico 2, a princípio, as concessionárias cujos contratos de concessão não possuem cláusula de arbitragem apresentam uma tendência maior de ingresso de ações na justiça, cerca de 89%. Por outro lado, aqueles contratos que possuem cláusula de arbitragem tem um percentual de ingresso de ações na justiça menor – cerca de 74% das concessionárias com cláusula de arbitragem não ingressaram com ações na justiça. Ainda, ao se analisar o Gráfico 2, verifica-se praticamente o mesmo percentual para aquelas concessões que entraram com pedido de arbitragem, ou seja, cerca de 73% não ingressaram na justiça, o que em números absolutos significa que dos 8 pedidos de arbitragem, apenas 3 concessionárias ingressaram com ações na justiça. Ao aprofundar nos 3 casos de

arbitragem com ações na justiça, 2 deles são contratos que não tinham cláusula de arbitragem no contrato original, que só foi incluída em aditivos recentes. Em síntese, pode-se inferir que dos 8 pedidos de arbitragem, apenas 1 tem ação judicial relacionada a um contrato de concessão com cláusula prevendo arbitragem desde sua origem.

Ao analisar os pedidos de renegociação, via arbitragem, podemos inferir algumas relações entre as variáveis, conforme Gráfico 3.

Gráfico 3 – ROA e Financiamento Público x Pedidos de Arbitragem



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 3 apresenta as variáveis ROA e financiamento público e sua incidência nos pedidos de arbitragem em análise. Conforme pode-se inferir, os contratos de concessão com $ROA \leq 0$ são a maioria, totalizando seis, ou seja, espera-se que concessionárias que não estão obtendo o retorno desejado possam querer discutir renegociação de contrato via arbitragem. Os outros dois contratos com $ROA > 0$, conforme depreende-se do Gráfico 3, apresentam em sua estrutura de capital financiamento público. Essa informação é relevante, pois as licitações de rodovias, ao longo das últimas décadas, foram pautadas em algumas premissas, tais como políticas públicas e políticas de fomento de bancos públicos. No entanto, alguns dos pleitos dos concessionários são de que a estrutura de financiamento público inicialmente aventada nas licitações não foram cumpridas e, portanto, espera-se que pode acarretar pedidos de renegociação via arbitragem.

3.2 Modelo econométrico

Retomando ao questionamento que se quer responder com o presente artigo, o objetivo é avaliar quais fatores influenciam, e em que grau, os pedidos de renegociação de contratos de concessão no setor de infraestrutura por meio de arbitragem, com foco no setor de rodovias.

Revisitado esse ponto, o modelo que mais se apresenta adequado é o modelo *probit*, pois conforme Greene (2002), o modelo é utilizado para descrever a relação entre uma variável binária ou dicotômica e uma ou mais variáveis explicativas. Nos modelos de regressão linear, a estimativa de um coeficiente tem como objetivo indicar o sentido da influência de uma variável explicativa, bem como sua grandeza. No entanto, conforme Stock e Watson (2017), no modelo *probit* os valores dos coeficientes são mais complexos para interpretar, mas o sentido, ou sinal, e a significância estatística não⁵. Dito de outra forma, o modelo estimado avalia a probabilidade (ou propensão) de ocorrência de pedido de arbitragem por parte da concessionária tendo em vista as variáveis explicativas elencadas anteriormente.

Para o modelo *probit* em questão, foi utilizada a amostra com 28 concessões de rodovias federais, e como variável binária se concessionária ingressou com pedido de arbitragem, ou não, buscando responder quais variáveis tiveram influência na eventual renegociação do contrato de concessão. Para fins comparativos, utilizou-se também a modelagem *logit*, outro modelo de variável binária. Segundo Greene (2002), enquanto o *logit* utiliza uma função logística de distribuição, o *probit* adota uma função de distribuição normal.

⁵ Conforme Stock e Watson (2017), os softwares utilizados para estimação dos modelos *probit* normalmente utilizam estimativas de máxima verossimilhança que produzem estimadores eficientes, sendo que os desvios padrão produzidos pelo software podem ser utilizados da mesma forma como os desvios-padrão dos coeficientes de regressão.

Foi adotada a seguinte equação:

$$y = 1[y_i^* = x_i\alpha_1 + t_i\alpha_2 + l_i\alpha_3 + e_i\alpha_4 + \varepsilon_i < 0]$$

onde:

1 : assume valor 1 se a relação entre colchetes é verdadeira e 0 se o contrário

y_{it}^* : é a variável binária que indica se a concessionária (i) entrou com pedido de arbitragem ou não no ano (t)

x_i : é um vetor com características que não variam com o tempo, como cláusula de arbitragem no contrato de concessão e existência de financiamento público

t_i : é o tempo de operação da concessão desde o início do contrato

l_i : é um vetor com características que indicam potencial de litigar, como processos na justiça contra ANTT e Termos de Ajuste de Conduta com a ANTT

e_i : é um vetor com as características econômico-financeiras das concessões

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ e α_4 : vetores de parâmetros correspondentes a , e , respectivamente

ε_i : erro

Ainda, para o modelo em questão, conforme já mencionado, a amostra é compreendida pelas 28 concessões de rodovias federais concedidas entre 1996 e 2022, e sua dimensão pode ser uma eventual fragilidade na estimação, conforme amplamente debatido na literatura.

Segundo Peng et al. (2002), modelos de regressão logística derivados de amostra são sujeitos a erros amostrais, e a estimação de coeficientes para pequenas amostras é instável, mas, por outro lado, o autor afirma que a literatura não determina regras explícitas para o tamanho das amostras. Ainda em sua análise, Peng et al. (2002) avaliaram cerca de 52 estudos de regressão logística e, em vários deles, com tamanhos de amostra que não alcançaram um nível razoável de estabilidade. Embora a diferença de opiniões não permita uma definição precisa do padrão de observações, 7 dos 52 estudos tiveram baixas observações.

Conforme Freitas (2013), o tamanho da amostra não é subjetivo, pois uma vez que se aumenta o tamanho, a qualidade do ajuste melhora, ou seja, em seu estudo, o aumento do tamanho da amostra melhora a qualidade das regressões binárias do tipo logit e probit.

Como demonstrado, existe discussão na literatura sobre o tamanho amostral, mas no estudo aqui apresentado, é importante mencionar que a amostra de fato é finita e limitada, pois compreende o total de rodovias federais, ou seja, as concessões de rodovias federais totalizam 28, tornando impossível a amostra ser aumentada. Por outro lado, conforme já mencionado nas seções anteriores, são poucos os dados quantitativos e modelagens econômicas a respeito de arbitragem no Brasil, motivo pelo qual, apesar de uma amostra limitada, embora completa para rodovias federais, dado que engloba todas as existentes, esta pesquisa se mostra relevante para iniciar discussões quantitativas acerca do tema.

Foram utilizadas diversas combinações de variáveis que resultaram, inicialmente, em 15 modelos probit com intuito de avaliar aquele que melhor responde à pergunta do trabalho em questão. A variável arbitragem, conforme já mencionado anteriormente, é binária, e as demais, individualmente ou combinadas, a depender do modelo, são as variáveis que influenciam, ou não, os pedidos de renegociação via arbitragem. A Tabela 2 lista as variáveis utilizadas em cada modelo.

Tabela 2 – Modelos utilizados

Modelo	Variável Binária	Variáveis explicativas							
1	arbitrag	finanpublico							
2	arbitrag		tempoper						
3	arbitrag			prazoconc					
4	arbitrag				processo				
5	arbitrag					TAC			
6	arbitrag						roa		
7	arbitrag							invantt	
8	arbitrag	finanpublico	tempoper						
9	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc					
10	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc	processo				
11	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc	processo	TAC	roa		
12	arbitrag	finanpublico		prazoconc	processo	TAC	roa	invantt	
13	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc	processo		roa	invantt	
14	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc		TAC	roa	invantt	
15	arbitrag	finanpublico	tempoper	prazoconc	processo	TAC	roa	invantt	

Fonte: Elaboração própria.

onde:

- arbitrag: pedido de arbitragem (variável binária)
- finanpublico: Financiamento Público (variável dummy)
- tempoper: Tempo de Operação da Concessão em anos (variável contínua)
- prazoconc: Prazo da Concessão em anos (variável contínua)
- processo: processos na justiça contra ANTT
- TAC: Termos de Ajuste de Conduta (TAC) com a ANTT (variável dummy)
- roa: Índice de Retorno sobre o Ativo (ROA) (variável contínua)
- invantt: Investimentos na Concessão (variável contínua)

Foi realizada, também, uma avaliação da correlação entre as variáveis explicativas. A matriz de correlação é apresentada na Tabela 3. É importante avaliar a correlação entre as variáveis utilizadas no modelo para evitar (ou minimizar) problemas de multicolinearidade, retirando da estimação variáveis com elevada correlação (acima de 0,7)⁶. A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação e, conforme depreende-se, os valores de correlação estão bem abaixo, em módulo, de 0,7, indicando que as variáveis explicativas apresentam baixa correlação. Exceção para variável TAC com a variável processo, mas que, de toda forma, apresentou valor de 0,71, ou seja, bem próximo do valor limite de 0,7. De toda forma, ao realizar as estimações, será evitado adicionar as duas variáveis (TAC e processo) simultaneamente no mesmo modelo, tendo em vista que na existência de uma forte colinearidade entre duas variáveis, tende-se a aceitar a hipótese nula de que $\beta = 0$, pois a estatística t é subestimada.

Tabela 3 – Matriz de Correlação das variáveis

Variáveis	finanpublico	tempoper	processo	TAC	roa	invantt	prazoconc
finanpublico	1,0000						
tempoper	0,0052	1,0000					
processo	0,3721	0,5336	1,0000				
TAC	0,2533	0,4343	0,7174	1,0000			
roa	-0,2713	0,3629	0,0187	0,0371	1,0000		
invantt	0,5972	0,1313	0,3904	0,4996	-0,2031	1,0000	
prazoconc	0,1037	-0,3533	-0,2915	-0,2393	-0,0601	0,0362	1,0000

Fonte: Elaboração própria.

⁶ Esse número de corte é usualmente proposto na literatura (Resende e Figueirêdo, 2010), tendo como objetivo minimizar a ocorrência de multicolinearidade. Sabe-se que no caso de uma forte colinearidade entre X_{1i} e X_{2i} (em um modelo geral do tipo), tende-se a aceitar a hipótese nula de que $\beta = 0$, pois a estatística t é subestimada.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para fins de análise dos modelos, será considerado o intervalo de confiança de 95%, ou p-valor < 0,05. Ainda serão destacados os valores de $p < 0,01$ (99%) e $p < 0,1$ (90%). Nas tabelas, o número apresentado entre parênteses se refere ao desvio-padrão. Feito esse preâmbulo e com base nos modelos definidos anteriormente, passa-se a analisar os resultados obtidos para cada um deles.

Os primeiros sete modelos trazem apenas uma variável testada isoladamente em resposta à variável binária arbitragem. Como pode ser depreendido dos resultados dos modelos apresentados na Tabela 4, apenas os modelos 1, que traz a variável financiamento público, e 6, índice de retorno sobre o ativo (roa), apresentam p-valor menor que 0,05, ou seja, com resposta significativa em termos do intervalo de confiança estipulado de 95%.

Tabela 4 – Modelos 1 a 7 – *probit*

Var_expl	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4	modelo 5	modelo 6	modelo 7
finanpublico	1,22568** (0,61935)						
tempoper		-0,02440 (0,02464)					
prazoconc			0,12689 (0,08437)				
processo				-0,30559 (0,51887)			
TAC					-0,06319 (0,52537)		
roa						-10,33543** (4,02084)	
invantt							0,00000* (0,00000)
_cons	-1,38299*** (0,52996)	-0,31223 (0,39203)	-4,06249* (2,32993)	-0,43073 (0,34090)	-0,54140* (0,32662)	-0,57459** (0,27316)	-1,23718*** (0,44707)
#obs.	28	28	28	28	28	28	28

Fonte: Elaboração própria.

Notas: P-valor: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Analisando-se em detalhes o modelo 1, verifica-se que a variável financiamento público varia positivamente em relação à ocorrência de pedido de arbitragem, ou seja, o fato de existir financiamento público no contrato de concessão contribui para eventual pedido de renegociação via arbitragem, o que, inclusive, ao se avaliar alguns dos pleitos presentes nos pedidos formulados pelos concessionários, corrobora o resultado, tendo em vista que muitos questionam a estrutura do financiamento público aventado nas etapas de pré-licitação e o efetivamente disponibilizado.

Já no modelo 6, a variável roa varia negativamente, o que significa que índices de retorno sobre o ativo negativo contribuem para o pedido de arbitragem, o que também faz sentido, tendo em vista que retornos negativos podem levar a pleitos de reequilíbrio econômico do contrato.

Conforme já mencionado, os demais modelos são combinações das variáveis com o intuito de se estabelecer aquele que apresente uma resposta mais satisfatória à questão central do trabalho, que é determinar quais fatores mais influenciam os pedidos de arbitragem. A Tabela 5 apresenta os resultados dos modelos de 8 a 15, bem como o modelo 16 que será tratado adiante.

Tabela 5 – Modelos 8 a 16 – *probit*

Var_expl	modelo 8	modelo 9	modelo 10	modelo 11	modelo 12	modelo 13	modelo 14	modelo 15	modelo 16
finanpublico	1.31402* (0.67985)	1.75801** (0.73873)	1.79847** (0.72453)	1.97833** (0.87335)	100.659 (0.91151)	1.52754* (0.87122)	134.883 (0.91376)	150.626 (0.92873)	1.79747** (0.89181)
tempoper	-0.03932 (0.03269)	0.07571 (0.06435)	0.07795 (0.06313)	0.18447** (0.07490)		0.17099** (0.07123)	0.13653** (0.06234)	0.17901** (0.07487)	0.13647** (0.06129)
prazoconc		0.35144** (0.16074)	0.31839* (0.18796)	0.44088** (0.19320)	0.16357 (0.16900)	0.40961** (0.19618)	0.46579** (0.19701)	0.42769** (0.20445)	0.45380*** (0.16537)
processo			-0.28683 (0.82561)	-1.64842* (0.84224)	-1.78858* (-1.02435)				
TAC				0.91565 (0.58078)	0.91606 (0.67774)		-0.32112 (0.78470)	0.59695 (0.74352)	
roa				-14.23193*** (-5.16081)	-13.44184* (-7.19157)	-14.50974** (-5.94200)	-10.51806*** (-3.78062)	-16.75732* (-8.86551)	-11.05320*** (-3.65934)
invantt					0.00000 (0.00000)	0.00000* (0.00000)	0.00000 (0.00000)	0.00000 (0.00000)	
_cons	-1.04797* (0.58348)	-12.31759** (-5.23547)	-11.30607* (-6.07188)	-15.65043** (-6.53292)	(-6.15875) (-5.38014)	-14.78199** (-6.59433)	-16.36768** (-6.49690)	-15.35509** (-6.86835)	-15.80056*** (-5.48726)
#obs.	28	28	28	28	28	28	28	28	28

Fonte: elaboração própria.

Notas: P-valor: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

O modelo 8 traz um agrupamento das variáveis financiamento público (*finanpublico*) e tempo de operação da concessão (*tempoper*). Como pode ser verificado, ambas não apresentaram um p-valor significativo ao nível de 5%. Isoladamente a variável financiamento público havia apresentado significância e, no modelo 8, ficou perto de responder satisfatoriamente, mas quando combinada com o tempo de operação não obteve êxito, muito provavelmente porque o financiamento público, ou a ausência da estrutura previamente concebida à época da licitação, agrava a concessão em tempo de operação menor que a média das concessões.

Já o modelo 9 traz, além das duas variáveis anteriores do modelo 8 (*finanpublico* e *tempoper*), a variável prazo de concessão (*prazoconc*). Percebe-se que com essa combinação de variáveis, o modelo 9 apresenta uma melhor resposta, com as variáveis financiamento público e prazo da concessão respondendo significativamente, o que faz sentido, dado que são variáveis totalmente atreladas em um contrato de concessão.

Para o modelo 10, além das variáveis constantes no modelo 9, foi incluída a variável processos na justiça (*processo*). Com sua inclusão, o modelo teve uma resposta diferente do modelo 8, com apenas a variável financiamento público apresentando um coeficiente estatisticamente significativo.

Com relação ao modelo 11, passa-se a ter um modelo mais completo com a adição das variáveis TAC e roa. Esse modelo, de todos os apresentados, até o momento, apresenta o maior número de variáveis com significância estatística. São elas: financiamento público, tempo de operação, prazo de concessão, roa e, no limite, a variável processo. Aqui, os binômios financiamento público x prazo de concessão e roa x tempo de operação aparecem com coeficientes estatisticamente significativos novamente (ao nível de 5%).

O modelo 12 traz algumas variações e apresenta as seguintes variáveis: financiamento público, prazo de concessão, processo, TAC, roa e investimento na concessão. Para esse modelo, em que se retira o tempo de operação e acrescenta-se o investimento, nenhuma variável apresenta coeficiente estatisticamente significativo (ao nível de 5%).

Para o modelo 13, adicionou-se a variável tempo de operação, retirou-se a variável TAC e manteve-se a variável investimentos na concessão. O coeficiente da variável roa apresenta-se estatisticamente significativo, além dos coeficientes das variáveis tempo de operação e prazo de concessão.

O modelo 14 substitui a variável processo do modelo 13 e inclui a variável TAC, e o resultado

apresenta as seguintes variáveis com coeficientes estatisticamente significativos: roa, tempo de operação e prazo de concessão. De certa forma, a inclusão da variável processo na justiça e/ou TAC não exerceu influência nos modelos 13 e 14. Com relação à variável TAC, observa-se uma inversão do sinal entre os modelos 11 e 12 (positivo) para o 14 (negativo). Entretanto, os coeficientes nos três modelos são estatisticamente iguais a zero, i.e., não influenciam no pedido de renegociação via arbitragem. Por fim, no modelo 15 foram consideradas todas as variáveis, e o resultado foi que apenas 2 delas apresentaram coeficientes estatisticamente significantes (ao nível de 5%): tempo de operação e prazo de concessão.

Analisando os modelos de 8 a 15, verifica-se que as variáveis com maior número de coeficientes estatisticamente significantes (ao nível de 5%) nos modelos são financiamento público, com incidência em quatro modelos, tempo de operação, com incidência, também, em quatro modelos, prazo de concessão, com incidência em 5 modelos, e roa, com incidência em 4 modelos.

Com isso, percebe-se que nenhum modelo tem a combinação dessas quatro variáveis com todos os coeficientes estatisticamente significativos. Por esse motivo, foi estabelecido, mais um modelo, de número 16, com as referidas variáveis, cujos resultados também são os apresentados na Tabela 5.

Percebe-se que no modelo 16 todas as variáveis apresentam resposta significativa à variável binária e, assim como no modelo 11 analisado anteriormente, os binômios financiamento público x prazo de concessão e roa x tempo de operação surgem de forma bastante latente.

Por fim, foi realizada uma análise de estimação da média dos efeitos marginais para todas as variáveis nos diversos modelos, conforme Tabelas 6 e 7:

Tabela 6 – Estimação Média de Efeitos Marginais – Modelos 1 a 7

Var_expl	modelo 1a	modelo 2a	modelo 3a	modelo 4a	modelo 5a	modelo 6a	modelo 7a
finanpublico	0,35651** (0,14328)						
tempoper		-0,00813 (0,00824)					
prazoconc			0,03910* (0,02373)				
processo				-0,10269 (0,17136)			
TAC					-0,02147 (0,17836)		
roa						-3,10167*** (1,12451)	
invantt							0,00000** (0,00000)
#obs.	28	28	28	28	28	28	28

Fonte: Elaboração própria.

Notas: P-valor: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

Tabela 7 – Estimação Média de Efeitos Marginais – Modelos 8 a 16

Var_expl	modelo 8a	modelo 9a	modelo 10a	modelo 11a	modelo 12a	modelo 13a	modelo 14a	modelo 15a	modelo 16a
finanpublico	0.37245** (0.15181)	0.41451*** (0.13112)	0.42161*** (0.12562)	0.37953*** (0.12695)	0.20619 (0.16618)	0.27442** (0.13825)	0.25833* (0.15492)	0.26888* (0.14925)	0.36945** (0.14777)
tempoper	-0.01115 (0.00899)	0.01785 (0.01418)	0.01827 (0.01384)	0.03539*** (0.01111)		0.03072*** (0.00923)	0.02615*** (0.00884)	0.03196*** (0.00976)	0.02805*** (0.01057)
prazoconc		0.08287*** (0.02963)	0.07464* (0.03931)	0.08458*** (0.03010)	0.03351 (0.03252)	0.07358*** (0.02687)	0.08921*** (0.02494)	0.07635*** (0.02835)	0.09327*** (0.02203)
processo			-0.06724 (0.19209)	-0.31624** (0.15563)	-0.36638* (0.19558)	-0.24722 (0.16831)		-0.33498 (0.21643)	
TAC				0.17566 (0.11951)	0.18765 (0.13407)		-0.06150 (0.14862)	0.10656 (0.13887)	
roa				-2.73030*** (0.99324)	-2.75348* (-1.48156)	-2.60662** (-1.09093)	-2.01446** (0.80582)	-2.99136* (-1.57292)	-2.27184*** (0.75350)
invantt					0.00000* (0.00000)	0.00000** (0.00000)	0.00000* (0.00000)	0.00000* (0.00000)	
#obs.	28	28	28	28	28	28	28	28	28

Fonte: Elaboração própria.

Notas: P-valor: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

Antes de analisar os resultados da estimação da média de efeitos marginais dos modelos, é importante ressaltar que apenas os coeficientes das variáveis “dummy” têm uma interpretação de probabilidade e, portanto, variam entre 0 e 1. Isso se deve ao fato de que o efeito marginal estima a probabilidade de mudança da variável e no caso das variáveis “dummy” é a variação do estado de 0 para 1, ou seja, o resultado da estimação média pode ser interpretado de forma direta. Já para as variáveis contínuas, conforme explicado por Williams (2021), o efeito marginal mede a taxa instantânea de mudança pelo tipo de variável, ou seja, não é possível uma avaliação direta do efeito médio marginal. Nesse caso, os coeficientes podem ter coeficiente maior que 1. Dessa forma, a análise dos coeficientes será realizada para as variáveis financiamento público, processo e TAC. Os coeficientes das demais variáveis podem ser interpretados apenas como influenciando positivamente ou negativamente os pedidos de renegociação dos contratos de concessão via arbitragem.

Ao se avaliar os resultados estimados da média de efeitos marginais constantes das Tabelas 6 e 7, percebe-se que a presença da variável financiamento público aumenta a probabilidade de pedido de arbitragem entre 35,65% e 42,16% nos modelos em que ela apresenta coeficiente estatisticamente significativo ao nível de 5%. A variável processo, que apresentou coeficiente significativo no modelo 11, obteve uma probabilidade de 31,62% de pedido de arbitragem nas concessionárias que não possuem processo na Justiça. Por fim, a variável TAC não apresentou coeficiente estatisticamente significativo em nenhum modelo.

Conforme mencionado na seção anterior, foi feita uma verificação dos resultados por meio do modelo logit, e as conclusões foram similares àquelas encontradas no modelo probit⁷.

Após a modelagem, com os dados apresentados, pode-se concluir que são quatro os fatores com coeficientes estatisticamente significativos: (i) financiamento público; (ii) prazo da concessão; (iii) ROA – retorno sobre o ativo e (iv) tempo de operação. Ou seja, são esses os fatores que mais influenciam os pedidos de arbitragem objeto do presente artigo, e, conforme análise prévia dos dados realizada antes da modelagem, algumas delas já se destacavam como relevantes.

A variável financiamento público tem um coeficiente positivo, ou seja, ter o financiamento influencia positivamente no pedido de arbitragem, e isso tende a acontecer, pois muitas das discussões dos concessionários têm relação com o fato de a estrutura de financiamento público contratada ser próxima da aventada na época do edital. Essa é uma variável que pode sinalizar que eventual conflito envolvendo condições editalícias, ou da envoltória do edital. Portanto, tende a afetar e influenciar os pedidos de arbitragem.

⁷ Os resultados do modelo logit podem ser disponibilizados pelos autores via email.

Já a variável roa tem coeficiente negativo, ou seja, o roa negativo influencia os pedidos de arbitragem, o que também, sem recorrer a uma modelagem econométrica, faz sentido, pois pode ser um indicador que tem relação com as condições econômicas e financeiras da concessão. Tal indicador, por exemplo, pode ser indicativo de eventuais desequilíbrios que possam vir a ensejar os pedidos de renegociação.

Por fim, os coeficientes das variáveis prazo de concessão e tempo de operação apresentam sinal estatisticamente significativo e positivo indicando sua contribuição para pedidos de renegociação via arbitragem; essas variáveis estão intimamente ligadas às outras duas e sua repetição em alguns modelos indicou inclusive a significância em forma de binômio: de um lado, prazo de concessão e financiamento público e do outro, tempo de operação e roa.

5 CONCLUSÕES

As soluções de controvérsias por métodos alternativos têm se tornado tão relevantes, que o próprio TCU (2023) instituiu em janeiro de 2023 a Secretaria de Controle Externo de Solução Consensual e Prevenção de Conflitos na busca pela solução consensual de conflitos entre o setor privado e administração pública. Ou seja, o órgão de controle externo está aderindo a métodos consensuais de solução de conflitos para gerar maior eficiência e economicidade em processos administrativos.

Dessa forma, o presente estudo é um primeiro embrião para fomentar mais discussões relativas ao tema da arbitragem entre setor de infraestrutura e a administração pública federal. Como se percebeu inicialmente, com relação à base de dados de arbitragem e com relação aos contratos de concessão e variáveis econômico-financeiras, a ANTT é quem possui uma base mais consolidada, especificamente para as rodovias federais.

O artigo buscou avaliar por meio de uma metodologia econométrica quais fatores influenciam os pedidos de arbitragem pelos concessionários. Verificou-se, com base nos dados das rodovias federais, que os pedidos de arbitragem têm como variáveis significativas estatisticamente a existência ou não de financiamento público, o retorno sobre o ativo, o prazo de duração da concessão e o tempo de operação das rodovias. Ou seja, esses são fatores que a princípio tendem a influenciar em um pedido de arbitragem, sem, obviamente, aprofundar nos pleitos específicos de cada concessionário.

Por fim, conforme destacado ao longo deste estudo, é crucial a realização de mais pesquisas quantitativas e qualitativas sobre o tema. Isso inclui, especialmente, a organização eficaz de um banco de dados sobre as concessões de serviços públicos no Brasil. Um repositório único e acessível facilitaria significativamente o acesso a dados sobre arbitragens que envolvem a administração pública e o setor de infraestrutura. Além disso, esse banco de dados poderia ser ampliado para incluir outros métodos de resolução de conflitos, como os consensuais, envolvendo os mesmos atores.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G.; CARDOSO, P. B. Legislação Federal sobre arbitragem com a Administração Pública. *In*: WALD, A.; LEMES, S. F. **25 anos da Lei de Arbitragem (1996-2021)**. Revista dos Tribunais, 2021. p. 71-98.

ALVES, A. C.; FERNANDES, C. de M. Breve Análise Econômica do Instituto de Arbitragem nos Contratos. **Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFAFIBE)**, 2014

ALSAIAT, A. S. **Disputes in administrative contracts and the possibility of utilizing; arbitration to solve them**. Public Policy and Administration Research, v. 5, n. 6, p. 45-48, 2015.

BEUVE, J.; MOSZORO, M.; SPILLER, P. **Doing It by the Book: Political Contestability and Public Contract Renegotiations**, MPRA Paper, University Library of Munich, Germany, 2023. Disponível

em: https://mpr.ub.uni-muenchen.de/117230/1/Renegotiations_v5c.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.

BEUVE, J., SAUSSIÉ, S. Renegotiations and Renewals of Public Contracts. **Review of Industrial Organization**, v. 59, p. 461-482, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11151-021-09819-w>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BRADA, J. C.; CHEN, C.; JIA, J.; KUTAN, A. M.; PEREZ, M. F. Value Creation and value destruction in investor-state dispute arbitration. **Journal of Multinational Financial Management**, v. 63, 2022.

CNJ – CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. **Justiça em Números 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.cnj.jus.br/wp-content/uploads/2022/09/justica-em-numeros-2022.pdf>. Acesso em: 07 set. 2022.

COSTA, M. C. **Análise da Eficiência de Operadores de Logística no Mercado Brasileiro**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2010.

CRUZ, C. O.; MARQUES, R. C. Exogenous Determinants for Renegotiating Public Infrastructure Concessions: Evidence from Portugal. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 9, 2013.

FGV – CERJ; THE WORLD BANK. **Arbitration in Regulated Infrastructure Sectors in Brazil**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ceri.fgv.br/publicacoes/arbitration-regulated-infrastructure-sectors-brazil>. Acesso em: 07 set. 2022.

FLAUSINO, V. F. V. **Arbitragem nos Contratos de Concessão de Serviços Públicos e de Parceria Público-Privada**. Curitiba: Juruá, 2015.

FREITAS, L. dos R. **Comparação das Funções de Ligação Logit e Probit em Regressão Binária Considerando Diferentes Tamanhos Amostrais**. Viçosa, 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/4062/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

GROTTI, D. A. M. A arbitragem nos contratos da Administração Pública. **Revista Brasileira de Estudos da Função Pública**, v. 7, n. 21, 2018.

GUASCH, J. L. **Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions Doing It Right**. Washington: The World Bank, 2004.

GUASCH, J. L.; LAFFONT, J.-J.; STRAUB, S. Renegotiation of concession contracts in Latin America – Evidence from the water and transport sectors. **International Journal of Industrial Organization**, v. 26, n. 2, p. 421-442, 2008.

HYLTON, K. N. Agreements to Waive or to Arbitrate Legal Claims: An Economic Analysis. **Supreme Court Economic Review**, vol. 8, 2008.

LEMES, S. M. F. **Incentivos à arbitragem na administração pública**. Disponível em: <http://genjuridi->

co.com.br/2018/01/02/incentivos-arbitragem-administracao-publica/. Acesso em: 29 jan. 2023.

PENG, C.-Y. J., SO, T.-S. H., STAGE, F. K.; St. JOHN, E. P. The Use and Interpretation of Logistic Regression in Higher Education Journals: 1988-1999. **Research in Higher Education**, v. 43, n. 3, p. 259–293, 2002. <http://www.jstor.org/stable/40196455>

PUGLIESE, A. C. F.; SALAMA, B. M. A Economia da Arbitragem: Escolha Racional e Geração de Valor. **Revista DireitoGV**, v. 4, n. 1, p 15-28, 2008.

RESENDE, G. M.; DE FIGUEIREDO, L. Testes de robustez: Uma aplicação para os determinantes do crescimento econômico estadual brasileiro entre 1960 e 2000. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 9-40, 2010. <https://doi.org/10.61673/ren.2010.299>

SARMENTO, J. M.; RENNEBOOG, L. Renegotiating public-private partnerships. **Journal of Multinational Financial Management**, v. 59, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2020.100661>

SCHMIDT, G. da R.; BRUXELLAS, L. L. Arbitragem, contratos administrativos e custos de transação. *In*: PORTO, A. M.; SEIXAS, L. F. M. **Perspectivas da Análise Econômica do Direito no Brasil**. 1. Ed. Rio de Janeiro: FGV Direito Rio, 2022. p 257-284. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/31956>. Acesso em: 07 set. 2022.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Introduction to Econometrics**. Estados Unidos: Pearson, 2018.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **TCU investe em soluções consensuais de conflitos para temas de grande relevância**. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/tcu-investe-em-solucoes-consensuais-de-conflito-para-temas-de-grande-relevancia.htm>. Acesso em: 11 jun. 2023.

WEINSTEIN, R.; EDES, C.; HALE, J.; PEARSALL, N. **Efficiency and Economic Benefits of Dispute Resolution through Arbitration Compared with U.S. District Court Proceedings**. Microeconomics Economic Research and Consulting, 2017.

WILLIAMS, R. **Marginal Effects for Continuous Variables**. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~rwilliam/stats3/Margins02.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2023.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à Econometria Uma Abordagem Moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

WORLD BANK. **Investing Across Borders 2010** – Indicators of foreign direct investment regulation in 87 economies. 2010. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/27883/643710WP0Inves00Box0361535B0PUBLIC0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 dez. 2022.

EXPORTAÇÕES DE BANANA E UVA NO NORDESTE BRASILEIRO: DETERMINANTES DE 1997 A 2021

Banana and grape exports in Northeastern Brazil: Determinants from 1997 to 2021

Carlos Eduardo Borges da Silva

Economista. Mestre em Economia. Economista do Instituto Federal de Alagoas. Campus São Miguel dos Campos - Avenida Projetada 01, nº 41, Quadra B6, Hélio Jatobá III - São Miguel dos Campos-AL, CEP: 57.246-615. carlos.borges@ifal.edu.br

Camila do Carmo Hermida

Economista. Doutora em Economia. Professora Adjunta da Faculdade de Economia Administração e Contabilidade, do Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Alagoas. Campus A. C. Simões. Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, CEP: 57072-970. camila.hermida@feac.ufal.br

Anderson Moreira Aristides dos Santos

Economista. Doutor em Economia. Professor Associado da Faculdade de Economia Administração e Contabilidade, do Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Alagoas. Campus A. C. Simões. Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, CEP: 57072-970. anderson.santos@feac.ufal.br

Resumo: Este estudo baseia-se no modelo gravitacional de comércio para estimar os determinantes das exportações de banana e uva do Nordeste do Brasil de 1997 a 2021 por meio de modelos Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) e Generalized Least Square (GLS). Os resultados revelam que as exportações de banana estão diretamente relacionadas a fatores atrativos, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a população do parceiro comercial, enquanto as exportações de uva são mais dependentes do Produto Interno Bruto (PIB) do parceiro e sua participação no mercado global. A distância geográfica emerge como um fator repulsivo para ambas as frutas. Além disso, o destino das exportações desempenha um papel vital, especialmente em mercados que demandam maior qualidade. Esses achados sugerem a necessidade de considerar estratégias específicas de exportação e a relevância do contexto do mercado-alvo para o Nordeste brasileiro, ressaltando a complexa interação entre fatores econômicos, geográficos e de qualidade na dinâmica das exportações de frutas na Região.

Palavras-chave: competitividade internacional, frutas, modelo gravitacional, exportações, PPML.

Abstract: This study relies on the gravity model of trade to estimate the determinants of the exports of bananas and grapes of the Brazilian Northeast from 1997 to 2021, using Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) and Generalized Least Square (GLS) models. The results reveal that banana exports are directly related to attractive factors such as the Human Development Index (HDI) and the population of the trading partner, while grape exports are more dependent on the partner's Gross Domestic Product (GDP) and their share in the global market. Geographic distance emerges as a repulsive factor for both fruits. Additionally, the destination of exports plays a vital role, especially in markets that demand higher quality. These findings suggest the need to consider specific export strategies and the relevance of the target market context for the Brazilian Northeast, highlighting the complex interplay between economic, geographical, and quality factors in the dynamics of fruit exports in the region.

Keywords: international competitiveness, fruits, gravitational model, exports, PPML.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a fruticultura tem demonstrado um crescimento consistente, indicando oportunidades significativas no mercado internacional. Embora o Brasil seja o terceiro maior produtor global de frutas, sua presença no mercado internacional permanece relativamente modesta, representando menos de 1% do total das exportações do País (FAOSTAT, 2022; Ministério da Economia, 2022). O Nordeste do Brasil, em particular, despontou como a segunda maior região produtora de frutas no País, registrando um crescimento de 501,85% nas exportações entre 2001 e 2021. Esse aumento consolidou a liderança da Região no setor de exportações de frutas em 2021 (Ministério da Economia, 2022).

Dois produtos notáveis na fruticultura nordestina são uvas e bananas, com Pernambuco e Bahia entre os cinco maiores produtores de uvas do Brasil, ocupando a segunda e quarta posições, respectivamente (Ministério da Economia, 2022). Quanto às bananas, destacam-se o Ceará em segundo lugar e o Rio Grande do Norte em quarto. Tal desempenho sólido do setor de frutas é de suma importância para a Região, uma vez que a fruticultura desempenha um papel significativo tanto na economia quanto no âmbito social, impulsionando a criação de empregos e o aumento da renda. Atualmente, o setor de frutas é o maior empregador dentro do agronegócio brasileiro, oferecendo oportunidades de trabalho para cerca de 5 milhões de pessoas, representando 16% do segmento (Kist, 2021).

Apesar dos indicadores promissores, a fruticultura nordestina ainda não alcançou a relevância necessária para ser considerada um grande ator no comércio internacional (Vidal, 2021). Este estudo tem como objetivo identificar os fatores que influenciam os fluxos de exportação de frutas no Nordeste, com foco especial em banana e uva, entre os anos de 1997 e 2021. A escolha da banana deve-se à sua importância na produção regional, embora sua inserção no comércio internacional ainda seja limitada. Por outro lado, a uva foi selecionada devido aos seus indicadores positivos no mercado externo. Para tanto, utilizamos o modelo gravitacional de comércio como arcabouço teórico, orientando a escolha de variáveis para análise empírica. Os métodos *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML) e *Generalized Least Square* (GLS) foram aplicados para os setores de banana e uva, devido à sua eficiência em lidar com problemas de heterocedasticidade e fluxos de exportação nulos.

A literatura existente sobre os determinantes dos fluxos de comércio, especialmente com foco em modelos gravitacionais, é vasta e inclui diversos estudos sobre exportações agrícolas. Dentre esses, destacam-se no contexto deste trabalho os artigos que se concentram na compreensão dos determinantes das exportações agrícolas brasileiras e/ou nordestinas, tanto em nível agregado quanto setorial. Alguns exemplos incluem as pesquisas de: Farias e Hidalgo (2012) e Aguiar (2018) para o setor de carne brasileira, Arevalo *et al.* (2016) para o setor de café, Nunes *et al.* (2021) para o mamão e Fonseca *et al.* (2010) para a uva. Além disso, existem estudos voltados para a análise dos determinantes das exportações específicas da região nordestina, como os de Lisbinski *et al.* (2023) abordando frutas como melão, manga, uva e castanha de caju; Silva (2015) examinando uva e manga; e Zanchi *et al.* (2013) explorando frutas *in natura*, dentre outros. Este trabalho contribui à literatura ao fornecer uma análise focada em dois setores específicos e ao utilizar métodos econométricos avançados, como o PPML, que lida de forma eficaz com questões de heterocedasticidade e autocorrelação. O artigo é estruturado em quatro seções: referencial teórico, metodologia, resultados e conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelo Gravitacional

O modelo gravitacional, cuja base teórica se inspira na lei da Gravitação Universal de Newton, tem um histórico de aplicação na economia que é relativamente recente quando comparado a outros modelos utilizados na economia internacional. Isard (1960) se destacou como o pioneiro na aplicação do modelo de gravidade na área de Economia. Seu propósito inicial era examinar a mobilidade da força de trabalho em diferentes regiões dos Estados Unidos. No entanto, ele estendeu a utilidade desse modelo ao analisar

o fluxo de comércio de mercadorias dentro do país. A conclusão a que chegou é que o comércio internacional entre países é significativamente influenciado pela distância geográfica. Em resumo, quanto maior a distância entre produtor e consumidor, menor será o volume de transações comerciais entre eles.

Tinbergen (1962) e Pöyhönen (1963) também desenvolveram contribuições pioneiras e, desde então, o modelo gravitacional tem passado por notáveis avanços. Essas primeiras contribuições estabeleceram uma sólida relação empírica entre o tamanho da economia, representado pelo PIB, e o volume do comércio internacional. Além disso, assim como Isard (1960), demonstraram uma relação inversa com a distância geográfica entre parceiros comerciais, destacando a significativa influência dos custos de transporte. Diversos pesquisadores têm contribuído para o seu aperfeiçoamento teórico e inúmeras aplicações empíricas têm sido conduzidas para compreender os fluxos de exportações bilaterais (Anderson, 1979; Deardorff, 1995; Evenett; Keller, 1998; Helpman, 1987, entre outros).

Segundo Krugman *et al.* (2015), a formulação dos fundamentos do modelo gravitacional de comércio internacional é dada pela equação:

$$T_{ij} = \frac{A x Y_i x Y_j}{D_{ij}} \quad (1)$$

Onde: T_{ij} : valor do comércio entre o país i e j ; A : termo constante; Y_i : PIB do país i ; Y_j : PIB do país j ; D_{ij} : distância entre os países i e j .

Anderson (1979), Nascimento (2013), Ferreira (2021), dentre outros, enfatizam ao longo do tempo, que o modelo gravitacional evoluiu com contribuições que conseguem capturar as complexidades do mercado global, tornando-se progressivamente mais eficaz. Estudos iniciais, como o de Prewo (1974), que introduziu o uso do PIB *per capita*, a análise da equação gravitacional aplicada a *commodities* por Anderson (1979) e as contribuições de Bergstrand (1985), mostraram a adaptação bem-sucedida da equação gravitacional à realidade empírica, destacando sua robustez.

A equação gravitacional, em consonância com a evolução da teoria do comércio internacional e suas transformações conceituais, passou a enfatizar questões como as diferenças entre os agentes econômicos, com um foco particular nos retornos de escala. Exemplos notáveis desse desenvolvimento incluem o trabalho de Bergstrand (1989), que explorou a diferenciação dos produtos por país e a produção por empresas e o estudo de Helpman (1987), que introduziu aumentos nos retornos de escala para produtos diferenciados por empresas em um contexto de monopólio competitivo. Além disso, a evolução do modelo gravitacional colocou a empresa no cerne das discussões, como evidenciado pela *New Trade Theory*. Um exemplo notável é o trabalho de Antras e Helpman (2004), que abordou a heterogeneidade das empresas em relação ao seu comportamento exportador. Além disso, Helpman, Melitz e Rubinstein (2008) generalizaram a equação de gravidade, ampliando seu escopo e aplicabilidade.

No período mais recente, o modelo gravitacional tem sido empregado em um vasto número de artigos de pesquisa e publicações, com a finalidade de avaliar os impactos comerciais de diversas políticas comerciais, que abrangem desde as tarifas convencionais até novas medidas que transcendem as fronteiras. Como resultado, ele se consolidou como a principal ferramenta da literatura aplicada de comércio internacional. Desde o âmbito regional até o nacional, e até mesmo em configurações de painel que abrangem múltiplos países, para diversos setores ou para segmentos específicos, esse modelo tem sido uma importante ferramenta para desvendar os determinantes dos fluxos comerciais (Shepherd *et al.*, 2019).

2.2 Determinantes das exportações setoriais do Brasil

Dentro do contexto deste estudo, que se concentra na análise dos produtos relacionados à fruticultura em um contexto regional no Brasil, é possível identificar algumas contribuições recentes na literatura que empregam o modelo gravitacional como estrutura teórica para elucidar os padrões de exportação. Exemplos notáveis incluem as pesquisas de Fonseca *et al.* (2010), Farias e Hidalgo (2012), Zanchi *et al.* (2013), Silva (2015), Arevalo *et al.* (2016), Aguiar (2018), Da Silveira *et al.* (2019), Nunes *et al.* (2021) e Lisbinski *et al.* (2023).

Fonseca *et al.* (2010) aplicam o modelo gravitacional com regressões aparentemente não relacionadas (SUR) para analisar as exportações de uvas frescas do Brasil de 2000 a 2008, destacando o papel significativo de variáveis como PIB *per capita*, distância geográfica, taxa de câmbio real e efeito-fronteira na explicação do comércio de uvas frescas. Eles também identificam indícios de concorrência entre as uvas frescas brasileiras e chilenas nos mercados dos Estados Unidos e da União Europeia. Zanchi *et al.* (2013) também empregam o modelo gravitacional para examinar as exportações de frutas frescas do Brasil durante o mesmo período, ressaltando a importância de fatores como PIB *per capita*, distância geográfica, taxa de câmbio real e efeito-fronteira na explicação dessas exportações. Os resultados sugerem a necessidade de melhorar a qualidade, diversificar as variedades e reduzir os custos de transporte para impulsionar o potencial de exportação de frutas frescas do Brasil.

Farias e Hidalgo (2012) utilizam o modelo gravitacional, mas para avaliar o comércio interestadual e internacional das regiões brasileiras no período pós-abertura comercial. A amostra inclui os estados brasileiros e parceiros comerciais do Mercosul, abrangendo 95% das exportações do Brasil. Os métodos de estimação utilizados foram Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) com efeitos fixos. Os resultados revelam que o efeito fronteira ainda é significativo para o comércio das regiões brasileiras, especialmente para o Nordeste, e que o Mercosul aumentou o comércio entre seus membros.

Silva (2015) investiga o desempenho das exportações de manga e uva do Brasil de 2003 a 2013, utilizando diversos métodos, incluindo o indicador de Vantagem Comparativa Revelada de Vollrath (VCR) e modelos gravitacionais. Os resultados destacam a vantagem comparativa revelada dessas frutas e a influência de fatores como competitividade, crescimento do comércio global, destino das exportações, distância geográfica e relação de preços com o país importador. O estudo ressalta o potencial de aumento das exportações dessas frutas, com foco em logística, qualidade, diversificação e redução de custos de transporte. Arevalo *et al.* (2016) analisam os determinantes das exportações de café do Brasil, Colômbia e Peru, empregando diferentes métodos de estimação, como *pooled*, efeitos fixos, aleatórios e PPML. Eles concluem que fatores como distância, preços e facilidade de fazer negócios desempenham um papel crucial nas exportações desses países.

Aguiar (2018) analisa os fatores que influenciam as exportações de carne bovina do Brasil, utilizando o modelo gravitacional. A análise abrange o período de 1998 a 2014 e inclui 100 parceiros comerciais, que somam 94,10% das importações. A metodologia baseou-se em diferentes métodos de estimação, como Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) Pooled, Efeitos Fixos, Efeitos Aleatórios e PPML, sendo este último considerado o mais adequado para os dados analisados. Os principais resultados indicam que o PIB dos países importadores e a taxa de câmbio afetam positivamente as exportações, enquanto a distância e o preço internacional da carne bovina têm efeitos negativos sobre o volume exportado.

Da Silveira *et al.* (2019) exploram os padrões de comércio de produtos agropecuários da Região Sul do Brasil, incluindo soja, fumo e carnes, com seus principais mercados de destino. Utilizando o modelo gravitacional com MQO-Pooled de 2000 a 2012, eles identificam a relevância de variáveis como PIB *per capita*, distância geográfica, taxa de câmbio real e efeito-fronteira na explicação do comércio desses produtos, além de evidências de substituição entre produtos brasileiros e argentinos. Nunes *et al.* (2021) concentram-se nas exportações de mamão do Brasil, destacando a influência dos preços internacionais e outras variáveis, como renda *per capita*, distância, taxa de câmbio, índice de liberdade comercial e presença de litoral. Seus resultados apontam para a importância de países europeus e dos Estados Unidos nas importações de mamão brasileiro, enfatizando a influência da renda *per capita* e do tamanho da economia desses países.

Lisbinski *et al.* (2023) analisam os determinantes das exportações de diversas frutas do Nordeste brasileiro entre 2000 e 2018, utilizando vários métodos de estimação, incluindo *pooled*, efeitos aleatórios, efeitos fixos e GLS. Seus estudos revelam o potencial de exportação dessas frutas, ressaltando a importância de melhorar a qualidade, investir em logística e infraestrutura de armazenamento e produção, com análise específica para a uva, enfatizando fatores econômicos, distância

geográfica, relação de preços e abertura econômica dos países importadores. Esses estudos, no conjunto, oferecem uma perspectiva abrangente dos fatores que influenciam as exportações de produtos agrícolas brasileiros e destacam a importância de considerar diversos aspectos econômicos e logísticos nesse processo.

3 METODOLOGIA

3.1 Métodos de estimação

Santos e Tenreyro (2006) apontam que a utilização de modelos lineares para analisar os determinantes de fluxos de comércio não considera a heterogeneidade intrínseca aos dados de comércio bilateral. A equação gravitacional não se baseia em uma relação linear entre a variável dependente e as variáveis explicativas, tornando necessário ajustar o modelo, como proposto por Anderson e Van Wincoop (2003) e Tinbergen (1962). Um dos problemas identificados é a heterocedasticidade quando se utiliza o logaritmo para linearização e a presença de fluxos de comércio igual a zero. A solução para esses problemas é a estimação direta do modelo gravitacional por meio da forma multiplicativa, viabilizada pelo estimador *Poisson Pseudo Maximum Likelihood* (PPML) (Krisztin; Fischer, 2015; Santos Silva e Tenreyro, 2006, 2008). Esse método tem sido utilizado para corrigir a heterocedasticidade e a ausência de fluxos bilaterais em estudos como os de: De Paula e Silva (2015) e Nunes *et al.* (2021), dentre outros.

Ademais, os dados de comércio bilateral sofrem frequentemente com problemas de heterocedasticidade, que requerem correção para evitar a obtenção de estimativas enviesadas. Para lidar com essa questão, os pesquisadores frequentemente recorrem ao método dos mínimos quadrados generalizados (MQG), conhecido como GLS em inglês. Estudos como os de Lisbinski *et al.* (2023), Pham *et al.* (2019) e Hirantha (2004) aplicaram esse método em conjunto com o modelo gravitacional e dados em painel. Lisbinski *et al.* (2023) destacam a eficácia do GLS na abordagem da heterocedasticidade e autocorrelação, obtendo um ajuste consistente com a teoria econômica. Vale ressaltar que o GLS, ou sua versão operacionalizada, FGLS (*Feasible Generalized Least Square*), é mais eficiente em termos assintóticos do que o MQO, embora exija condições mais rigorosas (Wooldridge, 2022). Além disso, estudos como o de Martínez-Zaroso *et al.* (2007) demonstram que o estimador pode ser altamente eficiente mesmo na presença de heterocedasticidade e de fluxos de comércio de valor zero.

Nesse cenário, a literatura empírica que emprega o modelo gravitacional no estudo do comércio internacional tem apontado a superioridade das estimações via PPML e GLS para solucionar problemas inerentes aos dados de fluxos comerciais. Assim, esses métodos se destacam como escolhas especialmente adequadas e superiores para analisar o comércio bilateral, justificando sua seleção para os objetivos deste estudo.

3.2 Dados, variáveis e modelos estimados

No contexto do modelo gravitacional, as variáveis podem ser classificadas como atrativas ou repulsivas ao comércio, influenciando os fluxos comerciais de maneira positiva ou negativa, respectivamente. Neste estudo, analisamos as exportações de uva (Código SH 080610) e banana (Código SH 080300) da Região Nordeste do Brasil. Esses dados foram extraídos da base de dados COMEX STAT, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), com base no Sistema Harmonizado (SH) de seis dígitos.

Foram selecionados os dez maiores importadores de banana e uva entre 1997 e 2021 considerando a consistência e a intensidade do fluxo de exportações da Região para todos os países do mundo no período mencionado. Para banana, os principais importadores são o Reino Unido, Alemanha, Itália, Países Baixos, Espanha, Polônia, Argentina, Uruguai, Portugal e França. No caso da uva, os principais importadores incluem os Países Baixos, Reino Unido, Estados Unidos, Alemanha, Noruega, Argentina, Bélgica, Canadá, Espanha e Emirados Árabes Unidos. As variáveis utilizadas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição das Variáveis

Variável	Descrição	Fonte	Sinal esperado
EXP	Fluxo de comércio entre o Nordeste e o parceiro	Comexstat -Ministério da Economia	
IMP_j	Participação do comércio no PIB do importador	Banco Mundial	(+)
Y_j	PIB do país importador	Banco Mundial	(+)
Y_i	PIB do Nordeste	Ipea Data	(+)
Ypc_j	PIB <i>per capita</i> do importador	Banco Mundial	(+)
D_{ij}	Distância entre os países	CEPII	(-)
IDH_j	Índice de desenvolvimento Humano	Human Development Report	(+)
Pop_j	População do parceiro	Banco Mundial	(+)
BAR_j	Barreiras comerciais(tarifárias)	Instituto Fraser	(-)
LOC	Variável <i>dummy</i> para países da Europa e América do Norte*	-	(+)
L_j	Liberdade econômica	Instituto Fraser	(+)

Fonte: Elaboração própria.

Nota: *Exceto México.

A escolha das variáveis foi fundamentada no arcabouço teórico do modelo gravitacional, tal como em: Tinbergen (1962), Pöyhönen (1963), Bergstrand (1989), Krugman *et al.* (2015), bem como em abordagens empíricas mais recentes, a fim de proporcionar uma análise abrangente dos determinantes dos fluxos de exportações de uva e banana do Nordeste brasileiro. Consideramos as variáveis Y_j e Y_i , que representam o PIB do país importador e o PIB do Nordeste, respectivamente, para capturar o impacto da economia tanto do Nordeste quanto dos parceiros comerciais.

Além disso, IMP_j e Ypc_j foram utilizadas alternativamente nos modelos estimados como distintas *proxys* para capturar o impacto do tamanho dos países de destino das exportações. IMP_j representa a inserção externa do país importador. Essa variável é relevante porque reflete o quanto o comércio desse produto contribui para o PIB do país importador. A expectativa é que uma maior participação do comércio no PIB esteja positivamente associada ao fluxo de exportações, uma vez que países com um PIB mais influenciado por esse comércio são mais propensos a manter e aumentar suas importações. Ypc_j captura não apenas o poder de compra dos consumidores no país importador, isto é, seu tamanho absoluto, mas também reflete elementos importantes, como o nível de desenvolvimento econômico e a distribuição de renda dentro desse país. Ademais, incluímos a distância entre os países, representada por D_{ij} , que é uma variável crítica, de acordo com a literatura, com efeito negativo sobre as exportações, uma vez que pode aumentar os custos de transporte e logística.

Outras variáveis foram consideradas nos modelos como: Pop_j denota a população do parceiro comercial, que pode afetar a demanda, e IDH_j - Índice de Desenvolvimento Humano do país importador. O IDH é composto por escolaridade, longevidade e renda, e reflete o nível de desenvolvimento de uma população, o que impacta diretamente a demanda por produtos de alta qualidade, incluindo frutas frescas e saudáveis. Em países com IDH elevado, a maior renda *per capita* permite o consumo de produtos diferenciados, com maior valor agregado e padrões de qualidade rigorosos. Esses mercados demandam segurança alimentar, rastreabilidade e sustentabilidade, fatores que influenciam positivamente o comércio de frutas (Cieślík, 2016). Portanto, o IDH do país importador funciona como um indicador de desenvolvimento econômico, de riqueza, capacidade e preferência desses mercados por produtos que atendam aos padrões exigidos internacionalmente. Os resultados de estudos prévios apontam que países com IDH mais elevado tendem a importar mais, devido ao maior poder de compra e à maior exigência em relação à qualidade dos produtos consumidos (Afzal *et al.*, 2009; Cieślík *et al.*, 2016). Dessa forma, ao incluir o IDH do país importador no modelo gravitacional, captura-se a influência de fatores como a maior expectativa de vida e o acesso à educação, que impulsionam a demanda por alimentos saudáveis (FAO, 2003; Miller *et al.*, 2016).

Trabalhos como os de Lisbinski *et al.* (2023) demonstram que as exportações de frutas do Nordeste, como melão, manga e uva, estão positivamente relacionadas à renda dos países importadores, o que

confirma a importância do IDH como variável explicativa para o desempenho exportador da Região. Além disso, Silva (2015) também utilizou variáveis relacionadas à riqueza e desenvolvimento dos países importadores em sua análise sobre as exportações de frutas do Vale do São Francisco, constatando que o PIB e a renda *per capita* dos países importadores são fatores determinantes para o aumento das exportações de frutas. Ao incluir o IDH no modelo gravitacional, este estudo complementa a análise de variáveis tradicionais, como distância e PIB, e oferece uma visão mais abrangente dos fatores que impulsionam o comércio de frutas com países mais desenvolvidos. Portanto, uso do IDH como variável explicativa do modelo tem a vantagem de ser um componente mais refinado para captar a atração dos produtos, pois variáveis como PIB ou PIB *per capita* podem esconder problemas como a concentração de renda. Dessa maneira, verificar o desenvolvimento do país ao invés do seu tamanho aparente pode ser uma boa alternativa para o estudo do comércio internacional de frutas (Coelho *et al.*, 2009; Kist, 2021).

e indicam as barreiras comerciais e a liberdade econômica do importador. De acordo com a literatura, espera-se que a presença de barreiras comerciais tenha um impacto negativo nas exportações, enquanto maior liberdade econômica pode ter um efeito positivo (Silva, 2015; Lisbinski *et al.*, 2023). A variável *dummy* também foi incluída para países da Europa e América do Norte, considerando que eles são destinos significativos das exportações de frutas (Matthisen, Boteon, 2003; Lisbinski *et al.*, 2023).

A descrição da equação do modelo completo estimado, considerando separadamente estimações para banana e uva é a seguinte:

$$\ln_{EXP_{ijt}} = \alpha_0 + \beta_1 \ln Y_{pc_{jt}} + \beta_2 \ln Y_{it} + \beta_3 \ln D_{ij} + \beta_4 \ln Pop_{it} + \beta_5 \ln BAR_{jt} + \beta_6 LOC + u_{ijt} \quad (2)$$

Sendo: $i =$ Nordeste, $j = 1, \dots, 12$ países importadores, $t = 1997, \dots, 2021$. Embora tenhamos realizado uma estimativa abrangente, com base na equação 2, adotamos uma abordagem rigorosa para garantir a robustez dos resultados, conduzindo múltiplas estimativas, totalizando cinco modelos para banana e cinco para uva, cada um estimado utilizando tanto o método PPML quanto o GLS. A construção das equações baseou-se nas variáveis mencionadas, e as diferenças entre os modelos decorreram da inclusão ou exclusão de variáveis, tal como Quadro 2.

O modelo base possui sempre uma variável de tamanho do país representado pela população (Pop), tamanho econômico mensurado pelo volume das importações ou pelo PIB do país importador, pela distância (D), riqueza ou desenvolvimento socioeconômico mensurado pelo IDH e em um dos modelos pelo PIB *per capita*, liberdade/abertura mensuradas pela liberdade econômica ou Barreiras e Localização.

Quadro 2 – Síntese dos modelos estimados para uva e banana

Modelos	Variável dependente	Variáveis explicativas	Método
Modelo 1	Ln	ln, ln, ln, ln, ln, ln,	PPML, GLS
Modelo 2	Ln	ln, ln, ln, ln, ln, ln,	PPML, GLS
Modelo 3	Ln	ln, ln, ln, ln, ln, ln,	PPML, GLS
Modelo 4	Ln	ln, ln, ln, ln, ln, ln,	PPML, GLS
Modelo 5	Ln	ln, ln, ln, ln, ln, ln,	PPML, GLS

Fonte: Elaboração própria.

Essas modificações foram realizadas nos grupos de variáveis consideradas atrativas e repulsivas para o comércio, com o intuito de avaliar a robustez dos resultados. Tal abordagem nos permitiu examinar como diferentes combinações de variáveis influenciam as estimativas e verificar a consistência dos resultados em diversos cenários, reforçando a integridade da nossa análise. Para estimação e apuração dos modelos, foram utilizados os pacotes “regress” e “ppml” do software STATA 18.0.

4 RESULTADOS

As exportações de frutas desempenham um papel relevante na economia da Região Nordeste, representando cerca de 5,5% das exportações totais (Lisbinski *et al.*, 2023). Entre 2018 e 2021, essas exportações experimentaram um notável crescimento de 41,48%, com oito das 10 principais frutas

apresentando aumentos significativos, destacando-se a banana, abacate e maçã (Tabela 1). No entanto, a liderança nas exportações nordestinas é amplamente dominada por manga, melão e uva, que juntas correspondem a quase 87% do total das exportações de frutas da Região.

Tabela 1 – Principais frutas exportadas pelo Nordeste entre 2018 e 2021(US\$)

	2018	2019	2020	2021	Variação
Mangas frescas ou secas	16 167 9269	19 999 5400	228 604 165	232 693 399	43,92%
Melões frescos	135 000 942	159 434 657	146 993 600	164 556 891	21,89%
Uvas frescas	91 024 001	92 051 255	107 158 844	156 272 843	71,68%
Melancias frescas	30 904 254	42 868 128	41 131 074	49 674 955	60,74%
Mamões (papias) frescos	25 783 320	24 211 766	18 768 796	20 840 746	-19,17%
Bananas frescas ou secas	4 471 738	9 333 877	7 562 928	9 584 112	114,33%
Abacates frescos ou secos	87 227	484 838	1 436 937	1 903 545	2082,29%
Maçãs frescas	20 762	108 808	115 122	496 962	2293,61%
Cocos frescos	255 739	293 854	199 264	140 033	-45,24%
Abacaxis frescos ou secos	69 548	77 984	107 861	88 151	26,75%

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à produção de uva, o Nordeste ocupa a posição de segunda maior região produtora no Brasil. A produção de uvas no País está distribuída por todas as regiões, com predominância nas regiões Sul e Nordeste, uma produção intermediária no Sudeste e uma produção consideravelmente menor no Norte e no Centro-Oeste (Araújo *et al.*, 2009). Notavelmente, o Nordeste se destaca como o principal polo exportador desse produto (Lisbinski *et al.*, 2023). Essa conjuntura reflete a relevância da produção de uva na região nordestina e sua contribuição substancial para o mercado nacional e internacional. Já no que diz respeito à banana, embora não seja um protagonista proeminente no cenário do comércio internacional, sua produção é disseminada por todos os nove estados nordestinos, com uma ênfase significativa na Bahia, Ceará e Pernambuco, que concentram os maiores volumes de produção, sobretudo em áreas de fruticultura irrigada (Sena, 2011). A contribuição do Nordeste para a produção nacional de banana é substancial, representando 30,85% do valor total produzido no Brasil. Em termos de rendimento médio, entretanto, a região nordestina está aquém da média nacional, com apenas Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte apresentando rendimentos superiores aos do País durante o período analisado. Esse panorama reflete a importância da banana como cultura diversificadora na Região, apesar de seu menor destaque nas exportações em comparação com outras frutas.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas para a banana

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
$\ln EXP$	3,04	13,99	24,95	3,61	25,79
$\ln IMP_j$	8,44	12,14	13,92	1,22	10,04
$\ln Y_j$	24,00	27,36	29,00	1,35	4,92
$\ln Y_j$	18,34	18,99	19,50	0,31	1,61
$\ln Y_{pc_j}$	7,86	9,99	10,97	0,69	6,94
$\ln D_{ij}$	7,36	8,79	9,28	0,70	7,98
$\ln IDH_j$	-0,32	-0,16	-0,05	0,06	-38,35
$\ln Pop_j$	15,00	17,24	18,24	0,96	5,55
$\ln BAR_j$	1,35	2,00	2,22	0,16	7,75
$\ln L_j$	1,55	2,01	2,15	0,10	4,82

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas para a uva

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
$\text{Ln } EXP$	4,29	14,27	18,39	2,44	17,10
$\text{Ln } IMP_j$	4,83	11,74	14,45	1,93	16,44
$\text{Ln } Y_j$	25,88	27,77	30,54	1,18	4,23
$\text{Ln } Y_{ij}$	18,34	18,99	19,50	0,31	1,61
$\text{Ln } Y_{pc_j}$	7,86	10,44	11,54	0,59	5,69
$\text{Ln } D_{ij}$	7,43	8,98	9,40	0,53	5,92
$\text{Ln } IDH_j$	-0,28	-0,12	-0,04	0,05	-43,24
$\text{Ln } Pop_j$	14,80	17,20	19,61	1,21	7,06
$\text{Ln } BAR_j$	1,35	2,05	2,29	0,14	7,00
$\text{Ln } L_j$	1,55	2,04	2,17	0,10	5,07

Fonte: Elaboração própria.

Destacamos dois pontos relevantes nos dados (Tabela 2 e Tabela 3): o alto coeficiente de variação no fluxo de comércio de banana e a ampla dispersão entre os valores mínimos e máximos das variáveis, tanto para banana quanto para uva, o que indica a presença de outliers (valores extremos) ou uma grande heterogeneidade nos dados.

4.1 Análise dos determinantes das exportações de banana

Inicialmente, apresentamos os resultados das estimações via PPML e GLS para a banana na Tabela 4. Ao comparar os resultados dos modelos estimados por GLS com os estimados por PPML, observamos uma consistência geral nas conclusões, apesar da variação das variáveis incluídas nos modelos. Essa consistência reforça a robustez dos resultados encontrados.

O coeficiente da variável participação do comércio no PIB do país importador ($\text{Ln } Y_j$) foi significativo em todos os modelos em que esteve presente. No entanto, o sinal observado contradiz as expectativas teóricas. Em teoria, um aumento na inserção externa do parceiro indicaria um maior tamanho ou relevância desse país no cenário internacional. Porém, nesse caso, essa maior relevância resultou em uma diminuição das exportações de bananas do Nordeste para esses mercados, o que pode sugerir uma perda de competitividade ou dificuldades em competir com outros fornecedores nesses mercados mais dinâmicos. O sinal negativo observado pode ser atribuído à baixa competitividade e à limitada participação do Nordeste e do Brasil no mercado global de bananas, que é predominantemente dominado por grandes multinacionais (Fontenele; Melo, 2018; Oliveira; Pereira, 2019). Apesar do crescimento notável do mercado internacional de bananas, atingindo 21 milhões de toneladas em 2019, de acordo com a FAO, a realidade das exportações nordestinas foi diferente, registrando uma queda notável, em parte devido à saída da multinacional Del Monte Fresh Brasil Ltda do mercado (Alves, 2014). Essa disparidade entre as exportações brasileiras e o mercado global reforça algumas das razões por trás do sinal negativo da variável.

Além disso, desde os anos 2000, o Brasil enfrentou um declínio em suas exportações de frutas em comparação com outros países, e uma possível causa desse declínio está relacionada à retirada do País do *Generalized System of Preferences* (GSP), um sistema da União Europeia que reduz as barreiras para produtos agrícolas (Bornal *et al.*, 2021). No caso específico da banana, a literatura destaca diversos fatores que impactam negativamente os fluxos de exportação, incluindo a competição global, a qualidade do produto e a oferta interna. Além disso, as exportações de frutas da Região Nordeste do Brasil foram afetadas por problemas fitossanitários e climáticos que atingiram os principais estados exportadores, como o Rio Grande do Norte e o Ceará, a partir de 2016 (Júnior, 2019).

Tabela 4 – Resultados dos modelos estimados para a fruta banana, estimadores PPML e GLS

Variável	PPML					GLS				
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 9	Modelo 10
$\ln IMP_j$	-0,20*** (0,042)			-0,20*** (0,0427)		-1,20** (0,5174)			-1,02* (0,5209)	
$\ln Y_j$		-0,62** (0,3019)	-0,37 (0,2702)				-10,47*** (2,2786)	-8,33*** (2,176)		
$\ln Y_i$					0,17** (0,0672)					1,04* (0,5948)
$\ln Ypc_j$					-0,03 (0,0362)					0,01 (0,3986)
$\ln D_{ij}$	-0,93*** (0,2739)	-1,38*** (0,3857)	-1,28*** (0,3923)	-0,89*** (0,2933)	-1,09 (0,3302)	-10,95*** (3,0839)	-9,93*** (3,717)	-7,97** (3,8958)	-8,94** (3,4985)	-9,93*** (3,4911)
$\ln Pop_j$	0,17*** (0,0412)	0,03 (0,2735)	0,07*** (0,0263)	0,20*** (0,0433)	0,09*** (0,0268)	1,33*** (0,4736)	0,19 (0,2375)	0,60*** (0,2309)	1,56*** (0,4796)	0,56** (0,2437)
$\ln IDH_j$	3,37*** (0,6641)	2,11*** (0,6353)	1,43** (0,6025)	3,01*** (0,6441)		16,34** (7,6727)	18,78*** (6,7449)	12,98* (6,6537)	10,66 (7,6621)	
$\ln BAR_j$	-0,32* (0,1715)	-0,43** (0,2049)			0,08 (0,1712)	-1,79 (2,1883)	-3,79** (1,9193)			0,43 (2,0208)
$\ln L_j$			0,21 (0,2281)	0,31 (0,2564)				2,39 (2,559)	4,33 (3,0769)	
Loc	1,80*** (0,4876)	2,50*** (0,6678)	2,18*** (0,6836)	1,57*** (0,5300)	2,01*** (0,6079)	21,91*** (5,6395)	19,19*** (6,3428)	14,37** (6,8042)	17,09*** (6,3865)	19,50*** (6,5395)
Constante	10,02*** (2,2534)	19,09*** (4,4473)	14,09*** (4,3082)	7,95*** (2,5988)	5,82** (2,8683)	90,68*** (24,9309)	188,96*** (41,3059)	135,69*** (43,4957)	57,40* (29,5409)	55,45* (28,9279)

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Os valores entre parênteses são os resultados dos erros padrões, e * representa o nível de significância da variável sendo 10%: *, 5%: **, 1%: ***.

Os resultados obtidos para a variável PIB do Nordeste (\ln) revelam uma relação interessante entre o tamanho da economia regional e o fluxo comercial de bananas. A significância estatística nos modelos 5 e 10, mesmo a níveis de 10% e 5%, respectivamente, sugere que o crescimento da economia nordestina tem um impacto modesto, mas estatisticamente relevante, nas exportações de bananas. Isso pode ser interpretado como um sinal positivo, indicando que um aumento no PIB do Nordeste está associado a um aumento nas exportações de bananas da Região. Esse achado é consistente com a lógica econômica, já que um maior tamanho de economia regional pode criar mais oportunidades para o comércio internacional.

Por outro lado, nos modelos 2, 7 e 8, os resultados relacionados ao coeficiente da variável PIB do parceiro (\ln) são intrigantes. Embora tenha sido estatisticamente significativo, o sinal negativo contraria as expectativas tradicionais da teoria econômica. Esse fenômeno pode ser atribuído à limitada presença do Nordeste no mercado internacional de bananas, o que pode resultar em uma dinâmica de comércio não convencional. A baixa inserção da Região no mercado global pode significar que um aumento no PIB do país importador não beneficia necessariamente as exportações de bananas nordestinas, uma vez que o Nordeste pode não ser um ator proeminente nesse cenário, o que destaca a complexidade das relações comerciais no contexto da fruticultura regional.

Ademais, a falta de significância estatística da variável PIB *per capita* do país importador (\ln) nos modelos 5 e 10 também pode ser interpretada como um reflexo da limitada influência do Nordeste no mercado internacional de bananas. Como discutido anteriormente, a Região enfrenta desafios significativos para se destacar nesse mercado global, dada sua relativa falta de presença e competitividade em comparação com outros atores. A ausência de um efeito estatisticamente significativo do PIB *per capita* do país importador sugere que a capacidade da Região de atrair o fluxo de comércio de bananas é limitada, independentemente do nível de renda do país parceiro.

Já a variável distância (\ln) revelou seu coeficiente significativo em um nível de 1% em todos os modelos via PPML e GLS, como era esperado. O modelo 2 apresentou o maior impacto negativo do comércio em relação à distância, indicando que um aumento de 1% na distância resulta em uma diminuição de 1,38% nas exportações nordestinas. Esses resultados estão em consonância com outros estudos, como os de Lisinski *et al.* (2023) e Cateia *et al.* (2018).

A variável distância é crucial para as exportações nordestinas, considerando que a Europa é o principal mercado de banana (75% das exportações) (Ministério da Economia, 2022), e com a alta perecibilidade do produto, a capacidade logística da Região é decisiva para o desenvolvimento da atividade. Pérez-Mesa *et al.* (2019) discutem as limitações que o fator transporte impõe para os produtores espanhóis de frutas, mostrando a importância que ele tem para as exportações espanholas, levando-se em conta que a Espanha está dentro da região de maior demanda por frutas, eleva a importância da eficiência do transporte das frutas para o Nordeste. O autor destaca que a melhoria na eficiência do transporte e da logística é fundamental para o setor de frutas. De maneira semelhante, a variável distância, que reflete implicitamente diversos fatores relacionados aos custos de transporte e logística, desempenha um papel crucial no contexto das exportações de bananas no Nordeste, dado seu impacto significativo nas estimativas.

Em quatro dos cinco modelos estimados via PPML e naqueles via GLS, o coeficiente da variável população do país importador foi significativo a um nível de 1% e estava alinhado com as expectativas teóricas. É importante notar que os coeficientes dessas variáveis eram pequenos, com o menor valor significativo no modelo 3, indicando que uma variação de 1% na população leva a um aumento de apenas 0,07% nas exportações do Nordeste.

A variável de IDH do parceiro mostrou-se estatisticamente significativa a 1% em todos os modelos em que foi incluída, exceto no modelo 9 via GLS, apresentando sinais coerentes com a teoria econômica. No modelo 1, observou-se que um aumento de 1% no IDH resulta em um expressivo crescimento de 3,37% nas exportações nordestinas. Esse achado corrobora a ideia de que economias mais desenvolvidas tendem a demandar mais alimentos saudáveis, o que pode impulsionar o comércio de frutas, tal como apontado por FAO (2003), Afzal *et al.* (2009), dentre outros. O Ln é uma medida abrangente que incorpora não apenas o aspecto econômico, mas também aspectos sociais e de saúde do desenvolvimento humano de um país. A sua influência positiva nas exportações nordestinas sugere que economias mais desenvolvidas tendem a demandar produtos de maior qualidade e valor agregado, como frutas saudáveis e nutritivas. Esse resultado significativo do coeficiente com um aumento positivo mais que proporcional só reforça a ideia de que quanto melhor a qualidade de vida da população, maior será o consumo de alimentos saudáveis (Miller *et al.*, 2016), ou seja, quanto mais desenvolvida a economia, maior a demanda por frutas.

No modelo 1, o aumento expressivo de 3,37% nas exportações nordestinas para cada aumento de 1% no IDH do parceiro é particularmente notável. Isso ressalta a importância estratégica de direcionar esforços de exportação para mercados com índices de desenvolvimento humano mais elevados. Para o Nordeste, isso pode implicar uma reorientação das estratégias de comércio internacional, com um foco mais direcionado em mercados onde a demanda por alimentos saudáveis e de alta qualidade é mais robusta.

Quanto às barreiras tarifárias, observamos significância estatística nos modelos 1, 2 e 7, com sinais alinhados com a teoria econômica. Esse resultado sugere que as tarifas comerciais, que são impostos aplicados sobre produtos importados, estão exercendo um impacto mensurável nas exportações da região nordestina. Isso ressalta a importância de negociações comerciais favoráveis e acordos de livre comércio que visam reduzir ou eliminar tarifas, o que pode ser benéfico para a competitividade das exportações nordestinas de banana no mercado internacional.

A variável liberdade (Ln) apresentou coeficientes com os sinais esperados, mas não mostrou significância estatística em nenhum dos modelos, possivelmente devido à baixa abertura da economia brasileira ao comércio global.

Por fim, a variável binária de localidade (Loc) apresentou significância estatística no nível de 1% em todos os modelos e sinal como esperado. Isso indica que os produtos exportados para mercados europeus e norte-americanos estão sujeitos a requisitos ou demandas específicas, resultando em uma diferenciação notável do produto com base no mercado de destino. Essa diferenciação pode estar relacionada a fatores como padrões de qualidade, embalagens específicas, certificações ou até mesmo preferências do consumidor. A consistência do alinhamento com as expectativas teóricas é particularmente notável, pois destaca a importância de considerar os requisitos e as características distintas de diferentes mercados ao desenvolver estratégias de exportação.

O mercado internacional de bananas, durante a pandemia da Covid-19, enfrentou desafios como custos elevados de insumos, falta de contêineres e preocupações sanitárias rigorosas, enfatizando a necessidade de altos padrões de qualidade e infraestrutura por parte dos exportadores (FAO, 2022). Na Região Nordeste do Brasil, as exportações de bananas são dominadas por uma única empresa multinacional, evidenciando questões como a falta

de organização dos produtores, baixa adoção de tecnologia e perdas na colheita (Matthisen; Boteon, 2003). Esses aspectos ressaltam a complexidade do mercado e a importância de aprimorar a qualidade e a colaboração no setor, visando à competitividade das exportações de bananas.

4.2 Análise dos determinantes das exportações de uva

A Tabela 5 traz os resultados das estimações para as exportações de uva do Nordeste por meio dos estimadores PPML e GLS. O método GLS e PPML seguiram, em geral, o mesmo caminho, evidenciando a boa aceitação da uva nordestina no mercado mundial. A principal diferença entre os dois modelos é o coeficiente da variável população, que na estimação por GLS se apresentou mais estável tanto em significância quanto no sinal, dando mais força às variáveis de atração do modelo gravitacional.

Ao contrário dos resultados encontrados para as exportações de banana, as estimações para uva revelaram que o coeficiente da variável “participação do parceiro no comércio do produto” () apresentou significância estatística ao nível de 1% e seguiu a direção esperada pela literatura econômica em todos os modelos em que a variável foi incluída. Isso sugere que o aumento das importações por parte dos parceiros comerciais está positivamente associado ao incremento no fluxo de comércio de uva no Nordeste. A variável também reflete a inserção dos produtos nordestinos no mercado global. Notavelmente, a competitividade das exportações de uva brasileira, que é predominantemente proveniente do Nordeste (representando mais de 95% das exportações), tem se fortalecido (Seccia *et al.*, 2015). Esse avanço competitivo foi em parte facilitado pela obtenção da certificação de procedência do produto, concedendo maior credibilidade à uva nordestina, como destacado por Araújo *et al.* (2009). Dessa forma, isso pode ser reflexo da alta aceitação do produto no mercado mundial (Fonseca *et al.*, 2010).

A variável PIB do Nordeste () não apresentou coeficiente estatisticamente significativo em nenhum dos modelos. Já o PIB do parceiro (\ln) foi estatisticamente significativo em todas as estimações, mas não apresentou sinal correspondente com o que a teoria preconiza. Por outro lado, a variável PIB *per capita* do parceiro () apresentou o coeficiente estatisticamente significativo ao nível de 1% e sinal correspondente com a teoria econômica; o acréscimo de 1% no PIB *per capita* do parceiro acarreta o aumento do fluxo de exportações de uva do Nordeste em 0,12%, na estimação via PPML, e de 1,45%, na estimação por GLS.

Comparando com os resultados discutidos anteriormente para a banana, essa diferença pode ser atribuída às particularidades dos produtos e aos diferentes padrões de consumo. No caso da uva, os resultados mostram uma resposta mais forte ao aumento do PIB *per capita* do parceiro, sugerindo que produtos de maior valor agregado, como a uva, frequentemente exportada em embalagens especiais ou com certificações de qualidade, são mais sensíveis ao poder de compra dos consumidores estrangeiros. Por outro lado, a demanda por bananas pode ser influenciada por outros fatores além da renda, como preferências culturais e o desconhecimento sobre o produto, já que, ao contrário dos brasileiros, os consumidores estrangeiros podem não estar tão familiarizados com as características externas da fruta, que desempenham um papel crucial em sua compra. Essa distinção ressalta a importância de considerar as particularidades de cada produto e de seus mercados-alvo ao analisar os determinantes do comércio regional, como propomos neste estudo.

Da mesma forma que nas estimações para banana, os coeficientes da variável distância () foram significativos e com sinal esperado em todos os modelos, com exceção do modelo 8. Isso ressalta a importância fundamental dos custos logísticos mais elevados, maior tempo de transporte e outros entraves relacionados à distância, como questões de qualidade e prazo de validade dos produtos perecíveis.

Tabela 5 – Resultados dos modelos estimados para a fruta uva, estimadores PPML e GLS

Variável	PPML					GLS				
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 9	Modelo 10
Ln IMP_j	0,10*** (0,0108)			0,11*** (0,01037)		1,32*** (0,1184)			1,39*** (0,1498)	
Ln Y_j		-0,51*** (0,1962)	-0,49** (0,1998)				-4,17** (1,9038)	-3,47* (1.8003)		
Ln Y_i					0,02 (0,3923)					-0,49 (0,345)
Ln Ypc_j					0,12*** (0,0372)					1,45*** (0,3673)
Ln D_{ij}	-0,21*** (0,0398)	-0,09* (0,0446)	-0,07* (0,0342)	-0,21*** (0,3405)	-0,14** (0,0646)	-3,43*** (0,4341)	-0,92* (0,5593)	-1,74 (0,3701)	-3,63*** (0,342)	-1,06* (0,6277)
Ln Pop_j	-0,05*** (0,0106)	0,03*** (0,0097)	0,02** (0,0102)	-0,50*** (0,0102)	0,02** (0,0088)	-0,81*** (0,1197)	0,41*** (0,1175)	0,24** (0,1134)	0,22*** (0,0102)	0,46*** (0,0909)
Ln IDH_j	0,08 (0,4532)	3,16*** (0,4827)	2,96*** (0,4533)	-0,07 (0,4156)		2,28 (3,9582)	34,52*** (6,6034)	35,46*** (5,8948)	1,99 (3,9602)	
Ln BAR_j	-0,17 (0,1479)	0,27* (0,1573)			0,26 (0,172)	-0,99 (1,3802)	-2,01 (1,4638)			-0,2 (1,7357)
Ln L_j			0,39 (-0,2605)	-0,56** (-0,0102)				11,84*** (2,6331)	-1,91 (2,4132)	
Loc	-0,04 (0,0403)	-0,20*** (0,0561)	-0,22*** (0,06)	0,02 (0,0501)	0,05 (0,0377)	0,01 (0,4504)	-2,03*** (0,7313)	-3,30*** (0,7676)	0,21 (0,5703)	0,63 (0,4804)
Constante	4,65*** (0,3147)	7,58*** (1,8097)	7,07*** (1,8953)	5,18*** (0,351)	1,37* (0,7542)	45,85*** (3,6303)	54,99*** (18,2918)	40,06** (17,5448)	49,58*** (5,2735)	9,96 (6,7857)

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Os valores entre parênteses são os resultados dos erros padrões, e * representa o nível de significância da variável sendo 10%: *, 5%: **, 1%: ***.

Vitti (2009) aponta como desafios para expansão da uva brasileira no mercado mundial: reduzir custos de transporte, buscar novos mercados, diversificar o material genético e capacitar mão de obra. No entanto, a certificação da uva nordestina é fator essencial para a atual aceitação da uva no principal mercado do produto (Europa); os produtores do vale do São Francisco possuem o EurepGap, que atesta as boas práticas com ênfase na segurança do alimento (Cintra *et al.*, 2003).

Para o coeficiente da variável população (L_j), tem-se significância estatística ao nível de 1% em sete modelos e de 5% em três modelos e sinal divergindo nos modelos. Conforme destacado por Farias e Hidalgo (2012), não há um consenso claro em relação ao sinal desse coeficiente, uma vez que ele pode refletir tanto o tamanho do mercado, com potencial para impulsionar o comércio, quanto um fator que contribui para a diminuição da renda *per capita*.

Assim como nas estimações para a banana, a variável IDH apresentou significância estatística e o sinal esperado nos modelos 2, 3 (utilizando o estimador PPML) e 7, 8 (usando o estimador GLS), com coeficientes consideráveis em todas essas estimações. Esse resultado sugere que o IDH do parceiro pode desempenhar um papel relevante nas exportações de frutas da região nordestina. Isso já foi abordado por Lisbinski *et al.* (2023), ao sugerirem que quanto maior a riqueza do parceiro, maior a tendência de importar uvas. No entanto, conforme apontado, a decisão de compra do consumidor, mesmo em países com alto IDH, provavelmente está mais diretamente relacionada a fatores como o preço e a aparência do produto, principalmente em mercados altamente competitivos. Embora o IDH possa refletir uma maior capacidade de compra e maior demanda por produtos de qualidade, é importante reconhecer que outros fatores, como o custo e a apresentação, têm um peso significativo.

Os resultados mostram que a uva nordestina está bem-posicionada para evoluir no mercado mundial da fruta, pois variáveis como IDH, participação dos parceiros, PIB *per capita*, tamanho da população do parceiro agem positivamente para as exportações do produto. Tais resultados para IDH, distância, população e PIB *per capita* mostram-se em consonância com outros trabalhos da literatura que já realizaram

análises das exportações da uva como de Lisbinski *et al.* (2023) e Silva (2015).

A variável barreira comercial (somente apresentou significância no modelo 2, entretanto, não apresentou sinal consoante com a teoria econômica. Isso pode refletir a realidade de que as barreiras não tarifárias podem atuar como um filtro, permitindo que apenas as empresas mais competitivas e que atendem às exigências regulatórias se mantenham no mercado. Isso pode levar ao fortalecimento dessas empresas, resultando em aumento de suas exportações, mesmo diante das barreiras. Não há consenso na literatura sobre o sinal esperado das barreiras não tarifárias, pois, em alguns casos, essas barreiras podem promover uma maior competitividade e crescimento para as empresas que conseguem superá-las, em vez de restringir o comércio de forma generalizada.

A variável liberdade econômica (por meio do estimador GLS, apresentou resultado positivo, sugerindo que a liberdade econômica pode, de fato, exercer um impacto positivo sobre as exportações de uva da Região. A variável de localidade (*Lo*), quando aplicada nos modelos, revelou significância estatística em quatro deles, mas apresentou um sinal divergente em relação ao esperado. Esse resultado contrasta com os encontrados para a banana, e uma explicação plausível está na forma como a uva nordestina está posicionada no mercado global. Diferentemente da banana, a uva exportada do Nordeste conta com certificações como o EurepGap, que atestam o cumprimento de rigorosos padrões de segurança e qualidade, o que facilita sua aceitação nos mercados internacionais mais exigentes. Essa certificação, juntamente com uma melhor organização dos produtores de uva, permite que eles estabeleçam acordos comerciais que rompem as barreiras não tarifárias frequentemente impostas nesses mercados. Assim, embora o sinal observado para a variável de localidade tenha sido inesperado, isso pode refletir o fato de que a uva nordestina, por ser um produto bem qualificado e com padrões reconhecidos, consegue superar as limitações geográficas e regulatórias, permitindo sua inserção em mercados de alto valor. Isso destaca a necessidade de considerar as certificações ao analisar os determinantes do comércio internacional de frutas.

Em termos gerais, os resultados das estimativas das exportações de uva estão em consonância com as descobertas anteriores de Silva (2015), que utilizou métodos de estimação distintos para um período anterior. O autor ilustra que fatores como o crescimento do comércio global, os destinos das exportações e a competitividade, de maneira geral, exercem influências positivas sobre o comércio internacional da uva produzida no Nordeste. Além disso, os resultados obtidos aqui também se alinham com pesquisas que analisaram as exportações de uva em um contexto mais amplo, como o estudo de Fonseca *et al.* (2010), que observou que variáveis de atração, como o PIB *per capita*, mantêm uma forte relação com as exportações desse produto em nível nacional. Essa convergência de resultados ressalta a importância desses determinantes tanto para as exportações regionais quanto para as nacionais de uva.

Existem outras pesquisas que abordaram as exportações de uva, embora não tenham adotado o modelo gravitacional, como demonstrado no estudo de Vitti (2009), no qual foram encontrados resultados comparáveis aos apresentados neste trabalho, principalmente no que diz respeito à competitividade do produto. Além disso, ao considerar os resultados de Zanchi *et al.* (2013), que investigaram as exportações de frutas *in natura* no Nordeste brasileiro, é possível notar algumas semelhanças e diferenças interessantes. Em primeiro lugar, quando se avaliam apenas as variáveis de repulsão e atração, os resultados para banana e uva se assemelham ao que foi encontrado por Zanchi *et al.* (2013) para o conjunto das frutas *in natura*. Entretanto, ao aprofundar a análise, observa-se uma divergência significativa. No estudo de Zanchi *et al.* (2013), foram utilizadas duas variáveis de atração, o PIB do país importador e o PIB do parceiro comercial, sendo que os autores reconhecem que a segunda variável encapsula o efeito de outras variáveis de atração. Nesse ponto, os resultados começam a divergir, já que, no presente trabalho, ao considerar apenas o PIB do Nordeste e o do parceiro para o caso da banana, os resultados diferem dos obtidos por Zanchi *et al.* (2013). Essa discrepância em relação ao produto banana pode ser atribuída à limitada inserção desse produto no mercado global, o que o torna uma exceção em relação às exportações totais de frutas, diferindo, assim, dos achados de Zanchi *et al.* (2013) para o conjunto das exportações de frutas. No caso da uva, os resultados apresentam semelhanças com os de Zanchi *et al.* (2013), o que pode ser explicado pela maior inserção da uva no mercado internacional.

Os resultados demonstram também a importância da análise desagregada dos fluxos de exportações dos produtos a fim de captar as particularidades de cada setor e região e para que as ações de intervenção tenham maior acurácia. As limitações deste estudo incluem a falta de variáveis dinâmicas que afetam o fluxo de exportações e a natureza estática do modelo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As exportações de frutas do Nordeste brasileiro são influenciadas por diversos fatores econômicos e geográficos, refletindo a complexidade do comércio internacional de produtos agrícolas. Este estudo permitiu compreender melhor como diferentes variáveis afetam as exportações de banana e uva, destacando a necessidade de considerar as particularidades de cada produto e os mercados-alvo.

De modo geral, as bananas reagiram positivamente a variáveis de atração, como o índice IDH e a população do parceiro, sugerindo potencial para o comércio bilateral desse produto. Em contraste, as uvas se mostraram mais sensíveis ao crescimento do PIB *per capita* dos países importadores, reforçando a importância de mercados com maior poder aquisitivo para produtos de maior valor agregado. A organização dos produtores e certificações como o EurepGap parecem ter sido fundamentais para garantir acesso a mercados exigentes. Portanto, no caso das uvas, o Nordeste já tem uma presença consolidada no mercado internacional, aproveitando sua vantagem natural de produzir durante a entressafra dos principais demandantes internacionais. A resposta positiva às variáveis de atração, como o crescimento do comércio internacional de uvas nos países parceiros, indica um potencial contínuo de crescimento.

Já as bananas enfrentam desafios adicionais, o que torna sua inserção nos mercados internacionais mais complexa. A qualidade é um dos principais desafios a serem superados, especialmente nos mercados exigentes da Europa e América do Norte. Portanto, é fundamental que os produtores nordestinos invistam em melhorias na qualidade da banana, buscando atender aos padrões internacionais. Além disso, a distância geográfica também se destacou como um fator significativo, especialmente para a banana, devido aos custos de transporte e à perecibilidade do produto. Isso ressalta a importância de melhorias na logística e na infraestrutura de transporte para aumentar a competitividade das exportações nordestinas.

Portanto, é aconselhável que a Região Nordeste continue a investir em sua produção de uvas, mantendo e expandindo suas relações comerciais com parceiros já estabelecidos. Recomenda-se, de maneira geral, que o Nordeste melhore a qualidade de suas frutas para atender às demandas de mercados cada vez mais exigentes e invista em infraestrutura de transporte e logística eficiente para potencializar suas exportações. Isto é, superar os desafios de qualidade, melhorar a logística e continuar a desenvolver relacionamentos com parceiros comerciais são elementos-chave para aumentar a competitividade regional no mercado global de frutas. Trabalhos futuros podem incorporar mais variáveis, incluindo aquelas relacionadas à logística, barreiras fitossanitárias e eficiência governamental, como também a utilização de métodos que capturem fatores dinâmicos.

REFERÊNCIAS

AFZAL *et al.* A dynamic analysis of the relationship among human development, exports and economic growth in Pakistan. **The Pakistan Development Review**, v. 48, n. 4, p. 885-920, 2009. <https://www.jstor.org/stable/41261354>.

AGUIAR, G. M. B. **Condicionantes da exportação de carne bovina do Brasil: uma abordagem gravitacional**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ALVES, D. **Notícias do Campo**. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/capadr/publicacoes/noticias-do-campo>. Acesso em: 19 dez. 2022.

ANDERSON, J. E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. **The American Economic Review**, v. 69, n. 1, p. 106-116, 1979.

ANDERSON, J. E.; VAN WINCOOP, E. Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle. *American economic review*, v. 93, n. 1, p. 170-192, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1257/000282803321455214>.

ANTRAS, P.; HELPMAN, E. Global sourcing. *Journal of political Economy*, v. 112, n. 3, p. 552-580, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/383099>.

ARAÚJO, J. L. P.; CORREIA, R. C.; RAMALHO, P. J. P. **Mercados de uvas de mesa e de vinho. - Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/572468/mercados-de-uvas-de-mesa-e-de-vinho>. Acesso em: 8 nov. 2022.

AREVALO, J. L. S.; ANDRADE, A. M. F. de S.; BORGES, G. A. Uma Nota sobre Modelos Gravitacionais Aplicados à Exportação de Café de Brasil, Colômbia e Peru. *Revista Brasileira de Economia*, 70, n. 3, 2016. <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20160013>.

BERGSTRAND, J. H. The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence. *The Review of Economics and Statistics*, v. 67, n. 3, p. 474, 1985. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1925976>.

BORNAL, D. R.; SILVESTRINI, M. M.; PIO, L. A. S. Brazilian position in the international fresh fruit trade network/Posicionamento do Brasil frente a rede internacional de comercio de frutas in natura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 5, p. NA-NA, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021021>.

CATEIA, J. V.; VELOSO, G. de O.; FEISTEL, P. R. Determinantes das Exportações de Castanha de Caju da Guiné-Bissau (1986-2011): uma análise sob a ótica do modelo de gravidade de Bergstrand. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 56, n. 4, p. 583-604, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560403>.

CIEŚLIK *et al.* Globalization, international trade, and human development. **Czech journal of social sciences, business and economics**, v. 5, n. 2, p. 6-8, 2016.

CINTRA, R. F.; VITTI, A.; BOTEON, M. Análise dos Impactos da Certificação das Frutas Brasileiras para o Mercado Externo. *In: CONGRESSO DA SOBER, 41., Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: SOBER, 2003.*

COELHO, C. C.; FERREIRA, W. R.; CAVALCANTI, J. E. A. Análise Estatística Multivariada e Aplicação do Modelo Gravitacional aos Fluxos Turísticos para o Brasil. **Revista Reuna**, v. 14, n. 3, 2009.

DA SILVEIRA, D. C.; FEISTEL, P. R.; BRUM, A. L. As Exportações da Região Sul do Brasil: Uma Análise do Setor Agropecuário. *Redes*, v. 24, n. 3, p. 272-294, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17058/redes.v24i3.12330>.

DEARDORFF, A. V. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World?

Working Paper Series. National Bureau of Economic Research, 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.3386/w5377>.

DE LUCENA, M. A.; DE SOUSA, E. P.; CORONEL, D. A. Desempenho dos Principais Estados Brasileiros Exportadores de Frutas no Comércio Internacional: A Região Nordeste É Eficiente? *Revista Econômica do Nordeste*, v. 1, n. 1, p. 158-177, 2023. DOI: 10.29327/soberebpc2021.342757.

DE PAULA, J. S.; DA SILVA, O. M. Fatores internos como determinantes da competitividade no comércio internacional: um enfoque gravitacional. *Análise Econômica*, v. 33, n. 64, 2015. DOI: <https://doi.org/10.22456/2176-5456.39299>.

EVENETT, S.; KELLER, W. On Theories Explaining the Success of the Gravity Equation. **International Trade**. University Library of Munich, Germany, 1998.

FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

FARIAS, J. J. DE; HIDALGO, Á. B. Comércio interestadual e comércio internacional das regiões brasileiras: Uma análise utilizando o modelo gravitacional. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 43, n. 2, p. 251-266, 2012. DOI: <https://doi.org/10.61673/ren.2012.211>.

FERREIRA, C. R. C. Comércio Internacional e o Modelo de Gravidade: Evidências Recentes em Análise Teórica e Empírica. **A economia em Revista**, v. 29, n. 1, 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Banana Market Review – Preliminary results 2021**, 2022.

_____. **Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural áreas**, 2003.

FONSECA, DE P.H. V.; FERRAZ, L. X.; DE FARIAS C., E. Análise das exportações de uvas frescas brasileiras: uma estimação gravitacional a partir do modelo de regressões aparentemente não relacionadas. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 57, n. 2, p. 81-98, 2010.

FONTENELE, A. M.; MELO, M. C. P. de. Comércio exterior do Nordeste (1990-2008) e dilemas de política pública em uma economia pobre com pauta concentrada. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 5, n. 7, p. 322-348, 2018.

HELPMAN, E. Imperfect competition and international trade: Evidence from fourteen industrial countries. *Journal of the Japanese and International Economies*, v. 1, n. 1, p. 62-81, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0889-1583\(87\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0889-1583(87)90027-X).

HELPMAN, E.; MELITZ, M.; RUBINSTEIN, Y. Estimating Trade Flows: Trading Partners and Trading Volumes *. *Quarterly Journal of Economics*, v. 123, n. 2, p. 441-487, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1162/qjec.2008.123.2.441>.

HIRANTHA, S. W. From SAPTA to SAFTA: Gravity analysis of South Asian free trade. **European Trade Study Group (ETSG)**, 2004.

ISARD, W. **Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science**, 1960.

JUNIOR, R. G. Bananicultura: Produção e Exportações Brasileiras (2014-2018). *In: XI CONGRESSO DA APDEA*. Lisboa. **Anais...** Lisboa: [s.n.], p. 1-20, 2019.

KIST., B. B. **Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2021**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2021. p. 57-59.

KRISZTIN, T.; FISCHER, M. The Gravity Model for International Trade: Specification and Estimation Issues. *Spatial Economic Analysis*, v. 10, p. 451-470, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/17421772.2015.1076575>.

KRUGMAN, P. R.; OBSTFELD, M.; MELITZ, M. J. **Economia internacional** 10. ed. 2015.

LISBINSKI, F. C. **Determinantes das exportações de frutas da Região Nordeste brasileira (2000-2018): uma análise sob a ótica do modelo gravitacional**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

LISBINSKI, F.C.; BOBATO, A. M., CORONEL, D. A.; FEISTEL, P. R. Exportações de melão, manga e uva produzidos no Nordeste brasileiro (2000-2018): uma análise de dados em painel. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 1, n. 1, p. 178-201, 2023. DOI: <https://doi.org/10.61673/ren.2023.1400>.

LISBINSKI, F. C.; FAVARETTO, L.; FAVARETTO, J.; CORONEL, D. A. Competitividade e Orientação Regional Das Exportações Brasileiras De Uva. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 26, n. 54, p. 7-32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5335/rtee.v26i54.11392>.

MARTÍNEZ-ZARZOSO, I.; NOWAK-LEHMANN D., F.; VOLLMER, S. **The log of gravity revisited**. University of Goettingen, Department of Economics (University of Göttingen Working Papers in Economics), 2007.

MATTHIESEN, M. L.; BOTEON, M. **Análise dos principais pólos produtores de banana no Brasil**. ESALQ/USP, 2003.

MILLER, V.; YUSUF, S.; CHOW, C. K. Availability, affordability, and consumption of fruits and vegetables in 18 countries across income levels: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study. *The Lancet Global Health*, v. 4, n. 10, p. 695-703, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(16\)30186-3](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(16)30186-3).

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Comex Stat**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 14 dez. 2022.

NASCIMENTO, F.; JÚNIOR, D. P. A Evolução do Modelo Gravitacional na Economia The evolution of the gravity model in the Economy. *Saber Humano: Revista Científica da Faculdade Antonio Meneghetti*, v. 3, n. 4, p. 131-142, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.18815/sh.2013v3n4.45>.

NUNES, E. DE S.; KHAN, A. S.; SOUSA, E. P. DE. Determinantes das exportações brasileiras de mamão à luz do modelo gravitacional. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 59, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.222983>.

OLIVEIRA, I. M.; PEREIRA, GONÇALVES, L. A. O Fluxo Do Comércio Internacional De Frutas No Brasil: Análise Dos Anos 2000 A 2017. OKARA: Geografia em debate, p. 173-193, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n1.39189>.

PÉREZ-MESA, J.; GARCÍA-BARRANCO, M. C.; PIEDRA-MUÑOZ, L.; GALDEANO-GÓMEZ, E. Transport as a limiting factor for the growth of Spanish agri-food exports. *Research in Transportation Economics*, v. 78, p. 100756, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100756>.

PHAM, A. D.; PHAM, H.; LY, K.C. Double Taxation Treaties as a Catalyst for Trade Developments: A Comparative Study of Vietnam's Relations with ASEAN and EU Member States. *Journal of Risk and Financial Management*, v. 12, n. 4, p. 172, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jrfm12040172>.

PÖYHÖNEN, P. A Tentative Model for the Volume of Trade between Countries, **Weltwirtschaftliches archiv**, p. 93-100, 1963.

PREWO, W. E. Integration effects in the EEC: An attempt at quantification in a general equilibrium framework. *European Economic Review*, v. 5, n. 4, p. 379-405, 1974. DOI: [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(74\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0014-2921(74)90012-9).

SANTOS SILVA, J. M. C; TENREYRO, S. The Log of Gravity. *The Review of Economics and Statistics*, v. 88, n. 4, p. 641-658, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1162/rest.88.4.641>.

_____. Comments on "The log of gravity revised. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1162/rest.90.3.474>.

SECCIA, A.; SANTERAMO, F. G.; NARDONE, G. Trade Competitiveness in Table Grapes: A Global View. *Outlook on agriculture*, v. 44, n. 2, p. 127-134, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5367/oa.2015.0205>.

SHEPHERD, B.; DOYTCHINOVA, H. S.; KRAVCHENKO, A. The gravity model of international trade: a user guide [R version]. Bangkok: United Nations ESCAP, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12870/71>.

SILVA, T. J. J. DA. **Desempenho Exportador Da Manga E Da Uva Brasileira No Comércio Internacional: Uma Análise Entre O Período De 2003 A 2013**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

TINBERGEN, J. **Shaping the World Economy; Suggestions for an International Economic Policy**. New York: The Twentieth Century Fund, 1962.

VIDAL, M. F. Produção comercial de frutas na área de atuação do BNB. **Caderno setorial ETENE**, n. 168, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/822/1/2021_CDS_168.pdf

VITTI, A. Análise da competitividade das exportações brasileiras de frutas selecionadas no mercado internacional. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-13042009-153812>.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. 2.ed. London: MIT Press, 2022.

ZANCHI, V. V.; DE FARIAS C., E.; SCHWANTES, F.; XAVIER, L. F. Desempenho das exportações brasileiras de frutas in natura (1996-2007): uma análise sob a ótica do modelo gravitacional. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 19, n. 41, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5335/rtee.v0i41.3731>.

VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO DIRETA E CONVECÇÃO FORÇADA PARA DESIDRATAÇÃO DA CULTIVAR “BRS VITÓRIA” PRODUZIDA NO VALE DO SÃO FRANCISCO

Economic viability of a solar dryer with direct exposure and forced convection for dehydrating the “BRS Vitória” cultivar produced in the São Francisco Valley

Marcos José Ribeiro Oliveira

Graduado em Ciências com Habilitação em Matemática pela Universidade de Pernambuco. Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental. Prof. da Rede Estadual da Bahia. Avenida Cardoso de Sá, s/n, Campus Universitário. Petrolina, PE. marcos.ribeirooliveira@upe.br

Claudemiro de Lima Júnior

Engenheiro Mecânico. Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Prof. Associado do Colegiado de Matemática da Universidade de Pernambuco. Petrolina, PE. claudemiro.lima@upe.br

Nancy Lima Costa

Matemática. Doutora em Engenharia de Processos. Profa. Adjunta do Colegiado de Matemática da Universidade de Pernambuco, Petrolina, PE. nancy.costa@upe.br

Resumo: O Vale do São Francisco é uma região conhecida em todo o mundo pelo seu potencial na produção de frutas, em especial a uva. No entanto, mesmo com o avanço das tecnologias, ainda existe um desperdício dessa fruta. O uso de secadores solares para produção de uva desidratada é uma alternativa sustentável ao desperdício. Esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de um secador solar de exposição direta e convecção forçada usado na produção de uva-passa. Os resultados indicaram a viabilidade econômica desse equipamento, principalmente quando empregado em pequenas produções, uma vez que sua construção é de baixo custo e não usa combustíveis fósseis. Além disso, pode produzir 200kg de uva-passa por ano e apresenta uma taxa de retorno de apenas 9 meses.

Palavras-chave: desidratação, uva-passa, secador solar, BRS vitória.

Abstract: The São Francisco Valley is a region known throughout the world for its potential in fruit production, especially grapes. However, even with the advancement of technology, there is still a waste of this fruit. The use of solar dryers to produce dehydrated grapes is a sustainable alternative to despair. This research aimed to analyze the economic options of a direct exposure and convection solar dryer applied to the production of raisins. The results indicated the economic solutions of this equipment, especially when used in small productions, since its construction is low cost and does not use fossil fuels. Furthermore, you can produce 200 kg of raisins per year and have a return rate of just 9 months.

Keywords: dehydration, raisin, solar dryer, BRS victory.

1 INTRODUÇÃO

Petrolina é uma cidade pernambucana localizada no Vale do São Francisco, que se destaca por ser grande produtora de uva e apresenta uma média de radiação solar de 5,77 Wh/m² (Cresesb, 2023). O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de uva do Brasil e concentrou 23,3% de toda produção dessa fruta no ano de 2022, o que corresponde a aproximadamente 338.000 toneladas (IBGE, 2022). Nessa região do Brasil, a cultivar “BRS Vitória” ocupa cerca de 15% de toda a área cultivada no Vale do São Francisco (Zanella, 2019).

Essa cultivar foi desenvolvida pela Embrapa Uva e Vinho, que fica localizada na cidade de Jales (SP), sendo resultado do cruzamento da “CNPUV 681-29” e “BRS Linda”. Devido à qualidade dessa fruta, vários estudos apontam o seu potencial para a produção de uvas-passas, principalmente na região do Vale do São Francisco (Caldeira *et al.*, 2018).

Essa região produz em média cerca de 90.000 toneladas dessa cultivar por ano. Diante de uma produção desse porte, o desperdício é uma realidade, seja pela falta de conhecimento técnico para conservar as frutas, seja pelo alto custo, principalmente se a opção for por processos industriais que utilizam energia elétrica convencional. Cerca de 30% da produção de frutas são desperdiçados, afetando a economia de vários países (Palhares *et al.*, 2018). Isso representa uma oportunidade, principalmente para o pequeno produtor rural, que pode fazer parcerias com as fazendas e, através da secagem solar, agregar valor a um produto que seria descartado ou vendido a preços abaixo do mercado. Nesse caso, o processo de secagem surge como solução e método eficaz na preservação de alimentos, além de ser reconhecido e divulgado por grande parte comunidade científica (Mellalou *et al.*, 2023).

A secagem a céu aberto ainda é uma técnica muito utilizada, mas apresenta consideráveis desvantagens, como por exemplo a exposição dos produtos a insetos, poeira, chuva e vento, resultando em um produto de baixa qualidade (Tiwari *et al.*, 2016). Entretanto, existem vários tipos de equipamentos que podem ser empregados na desidratação de frutas e que preservam as principais características do produto a ser desidratado, além de protegê-lo das intempéries (Mustayen *et al.*, 2014).

A seleção do tipo de equipamento a ser utilizado é etapa fundamental para quem pretende iniciar um trabalho de secagem de frutas, pois existe uma variedade de equipamentos, que, a depender da sua configuração, podem apresentar tempo de secagem, rendimento térmico e custo de construção diferentes, apresentando viabilidade econômica ou não (Costa, 2022).

É possível encontrar na literatura alguns trabalhos sobre o tempo de secagem da uva e sua viabilidade econômica. Srivastava *et al.* (2021) desidrataram uva em um secador solar de exposição indireta com convecção natural no período de 20h. Elkhadraoui *et al.* (2015) utilizaram uma estufa para a secagem de uva chegando a 50h de secagem. O secador direto desenvolvido por Halak *et al.* (1996) precisou de 72h para finalizar o processo de secagem. Todos os equipamentos pesquisados apresentam resultados melhores do que o procedimento de secagem a céu aberto.

A Organização das Nações Unidas (ONU) prescreveu 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável, que fazem parte da Agenda 2030. Nesse contexto, o uso de secadores solares para a desidratação de frutas pode ajudar a efetivação dos objetivos 1, 7, 9, 11 e 12, quais sejam: erradicação da pobreza, energia acessível e limpa, cidade e comunidades sustentáveis, consumo e produção conscientes (ONU, 2015).

Analisar o comportamento dos indicadores econômicos envolvidos em um processo de secagem é fundamental para descobrir se um sistema tem sustentabilidade comercial. Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de um secador solar de exposição direta com convecção forçada para sua possível utilização por pequenos produtores rurais do Vale do São Francisco.

2 METODOLOGIA

O método utilizado neste experimento foi dividido em etapas, cada uma contribuindo para o resultado da pesquisa. Foi escolhida a fruta a ser desidratada e foram pesquisadas as principais informações nutricionais da uva-passa. Em seguida foram organizadas em tabelas as características do secador solar utilizado no experimento, materiais utilizados, quantidade e o custo. Além disso, foi descrito o procedimento de desidratação da uva, calculado o período de retorno e realizada a análise econômica e de sensibilidade.

2.1 Produto desidratado

O produto avaliado neste trabalho foi a cultivar “BRS Vitória”, colhida na Fazenda *Mix Fruit*, que está localizada no município de Casa Nova (BA). A curva de secagem foi determinada utilizando uma amostra de 37,2 g em estufa elétrica a 105°C, até o valor da massa ficar constante, de acordo com a metodologia usada por Vuataz *et al.* (2010) e Farias (2011). Além disso, essa uva apresenta valor energético elevado, sendo rica em proteínas e carboidratos, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais informações nutricionais da uva in natura

Porção de 100 g	
Carboidrato total	79,20 g
Cálcio	0,05 g
Energia	32,50 kcal
Fósforo	0,1 g
Fibras	3,70 g
Proteínas	3,07 g
Sódio	0,01 g

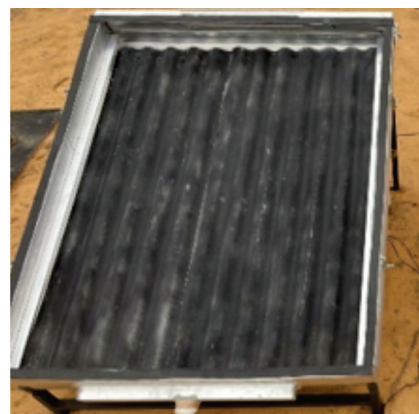
Fonte: Adaptado TBCTA (2023).

Para este experimento, foram pesquisados os preços da uva in natura que seria descartada e o preço de venda da uva-passa preta sem semente para os supermercados.

2.2 Descrição do equipamento

O equipamento escolhido para este estudo foi o secador solar de exposição direta com a convecção forçada desenvolvido pelos pesquisadores do Laboratório de Física e Energias Renováveis (LFER) da Universidade de Pernambuco (UPE – *campus* Petrolina) em parceria com o Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Esse equipamento é sustentável, podendo ser utilizado em pequenas e médias propriedades rurais de até 5 hectares, onde existem plantações de uva.

Figura 1 – Protótipo sistema de secagem solar



Fonte: Próprio autor (2023).

O protótipo foi posicionado com um ângulo de 20°, correspondendo à latitude da cidade de Petrolina (PE) mais 11° de inclinação (Figura 1). No caso de secadores instalados no hemisfério sul, recomenda-se posicioná-lo em direção ao norte geográfico e com uma inclinação de 10° a 15° somada à latitude local (Grilo *et al.*, 2007). Foi desenvolvida uma base de metal desmontável para garantir a inclinação escolhida, facilitar a logística e melhorar a eficiência energética do equipamento.

O coletor solar do sistema de secagem foi construído com placas de alumínio, para garantir a higiene do processo de secagem (Figura 1). A base e as laterais da caixa foram preenchidas com poliestireno expandido (isopor). Para facilitar a transferência de calor, foram colocadas duas telhas de fibrocimento de 4 mm pintadas de preto, para funcionar como se fossem um capacitor térmico.

A bandeja utilizada para depositar a uva a ser desidratada foi confeccionada com cantoneiras de alumínio de ½ polegada e tela tipo mosquiteiro (nylon), com o objetivo de melhorar a circulação do ar no interior do equipamento e facilitar a limpeza após o processo de secagem (Figura 2).

Figura 2 – Bandeja para depósito do produto



Fonte: Próprio autor (2023).

A tampa foi construída com cantoneiras de alumínio e policarbonato alveolar transparente, com espessura de 4 mm (Figura 3). A escolha por esse tipo de material se deu por causa dos espaços de ar presentes nesse tipo de policarbonato, pois aumentam o isolamento térmico do sistema. Além disso, o policarbonato é resistente a impactos, leve e apresenta capacidade de transmitir luz sem ser absorvida (Toro *et al.*, 2015).

Figura 3 – Tampa de policarbonato



Fonte: Próprio autor (2023).

O secador foi equipado com um cooler 12 volts adaptado em uma redução de PVC usada em sistemas hidráulicos. Esse sistema foi desenvolvido para forçar a ventilação e era alimentado por uma fonte ligada no sistema de energia elétrica convencional.

As principais características construtivas do equipamento utilizado neste trabalho estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características construtivas e dimensionais do secador solar de exposição direta

Componente	Características	Especificações
Dimensões	(largura, comprimento e altura em cm)	90 x 120 x 12
Dimensões da entrada de ar	(largura e altura em cm)	50 x 30
Dimensões da saída de ar	(largura e altura em cm)	40 x 3
Capacitor térmico	Telha de fibrocimento pintada de preto fosco	1,2 x 0,90 cm
Cooler de computador usado na entrada dos sistemas de secagem		12 V e 0,23 A
Material da bandeja		Perfil em L de alumínio de ½ polegada e tela de nylon
Adaptador para cooler (diâmetro em cm)		5
Cobertura		Policarbonato alveolar 4 mm transparente
Volume interno (litros)		129,6
Área de incidência de irradiação solar (m ²)		1,08
Volume interno (litros)		201,6
Área de incidência de irradiação solar (m ²)		1,176

Fonte: Adaptado de Costa (2022).

Para a construção do protótipo, foi priorizada a compra de materiais leves, resistentes à ferrugem e de baixo custo. Na Tabela 3, estão descritos os materiais utilizados, quantidade, valor unitário e valor total.

Tabela 3 – Materiais utilizados na construção do secador solar de exposição direta

Material	Quantidade	Valor Unitário (\$)	Valor total (\$)
Chapa de Alumínio Liso 2500 x 1250 x 1,20 mm	02 unidades	116,47	232,94
Policarbonato alveolar transparente	1 chapa 4 mm (2,10 x 6,0)	45,76	45,76
Poliestireno expandido	1 placa (100 x 50 cm)	50,00	10,40
Cantoneira de alumínio	1 barra (½ polegada)	11,23	11,23
Tela de Nylon	1 malha (2 x 1 m)	24,96	24,96
Metalon	1 barra (6 m)	7,28	7,28

Material	Quantidade	Valor Unitário (\$)	Valor total (\$)
Folha EVA	2 unidades	1,04	2,08
Cola silicone	1 unidade	6,24	6,24
Rebite	130 unidades	0,031	4,03
Folha de isopor	1 unidade/folha (100 x 50 cm)	10,40	10,40
Dobradiça	2 unidades	2,60	5,20
Cooler	1 unidade	7,92	7,92
Redução PVC	1 unidade	4,17	4,17
Total			372,61

Fonte: Próprio autor (2023).

2.3 Procedimento de secagem

Antes de iniciar o experimento, foi calculada a curva de secagem. Foi separada uma amostra de 32,7 g da cultivar BRS e desidratada em uma estufa elétrica até que a massa ficasse constante, o que ocorreu a partir da décima primeira hora, finalizando com um teor de umidade no percentual de 82,48%.

Os experimentos ocorreram nos períodos na primavera (07/11/2022 a 11/11/2022) e no verão (28/02/2023 a 03/03/2023), sempre das 8h às 17h, no Laboratório de Física e Energias Renováveis da Universidade de Pernambuco (UPE), que fica localizado na cidade de Petrolina (PE). Em cada experimento, foram utilizados dois secadores com as mesmas dimensões e características, para que fosse analisada a influência da agitação ou não do produto no tempo de secagem e eficiência do equipamento.

O produto foi distribuído nas bandejas dos equipamentos, que tem capacidade para 10 kg. Foram medidas as seguintes variáveis: massa da uva, temperatura e umidade do ar ambiente, temperatura e umidade relativa do ar na entrada e saída do secador solar. Para isso foi utilizado um sistema de medição chamando SMAD, composto por um Arduino Mega 2560 R3, cabo USB, display LCD (16x2), Módulo RTC, Módulo leitor de SD, Módulo DHT22.

Para saber se o teor de umidade da amostra atingia o percentual preconizado pela Anvisa, ou seja, de 25%, a amostra foi pesada de hora em hora e os dados lançados em uma planilha (Brasil, 2005). Para calcular a massa, foi usada uma balança digital. Também foi feito o acompanhamento visual da aparência do produto para ver o grau de enrugamento, tamanho, alteração da cor e uniformidade. Quando a amostra não atingia a massa esperada no fim do dia, todas as aberturas do equipamento eram vedadas, para o processo de secagem se iniciar no dia seguinte (Costa, 2022).

Foram calculados os custos para construção dos secadores, custos de operação, tempo secagem, preço da uva *in natura* e preço da uva desidratada vendida em supermercados da região.

2.4 Indicadores econômicos

Para a análise da viabilidade econômica foram utilizados os seguintes indicadores: quantidade de uva desidratada, custo do capital, custo total de produção, custo de secagem por quilo do produto e média de irradiação solar (Ekka, 2021).

Inicialmente, estimamos a massa de uva desidratada no período de um ano com a ajuda da Equação 1.

$$M_y = \frac{Q_{us} \cdot D_a}{D_b} \quad (\text{Equação 1})$$

Na qual:

M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg), Q_{us} é a quantidade de uva-passa produzida em um lote de secagem (kg), D_a é a quantidade de horas que o secador é usado no período de um ano (h) e D_b é o tempo necessário para secar um lote de uva (h).

Em seguida foram calculados o custo de capital anualizado do secador e o valor residual com a

aplicação das Equações 2, 3 e 4.

$$C_{ac} = C_{cc} \cdot F_c \quad (\text{Equação 2})$$

Na qual;

C_{ac} é o custo de capital anualizado do secador (USD), C_{cc} é o custo de capital total do secador (USD) e o fator de recuperação de capital F_c .

$$F_c = \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (\text{Equação 3})$$

$$F_s = \frac{d}{(1+d)^n - 1} \quad (\text{Equação 4})$$

Na qual;

F_c é o fator de recuperação de capital, (F_s) o fator de resgate do fundo, d é a taxa de juros (%) e n é a vida útil do equipamento.

Segundo Singh & Gaur (2021), o custo total anualizado do secador foi calculado considerando o valor gasto na construção do secador, manutenção, valor residual e custo anual do cooler, conforme a Equação 5.

$$C_a = C_{ac} + C_m + C_f - V_a \quad (\text{Equação 5})$$

Na qual;

C_a é o custo total anualizado do secador (USD), C_{ac} é o custo de capital anualizado do secador (USD), C_m é o custo de manutenção anual (3% do custo de capital anual), C_f é o custo operacional anual do cooler (USD) e V_a é o valor de recuperação (10% do custo de capital anual).

Para encontrar o custo de secagem por cada quilo de uva desidratada no secador utilizado neste trabalho, foi usada a Equação 6.

$$C_s = \frac{C_a}{M_y} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

C_s é o custo de secagem por quilo (USD), C_a é o custo anual do secador (USD) e M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg).

Para descobrir o custo total de produção, o faturamento anual e o lucro foram estimados por meio das Equações 7, 8 e 9.

$$C_t = (M_y \cdot C_s) + V_0 \quad (\text{Equação 7})$$

Na qual:

C_t é o custo total de produção (USD), C_s é o custo de secagem por quilo (USD), M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg) e V_0 é o custo anual da mão de obra empregada na produção da passa.

$$C_t = (M_y \cdot C_s) + V_0 \quad (\text{Equação 8})$$

Na qual:

F_a é o faturamento anual (USD), M_y é a quantidade de uva desidratada no período de um ano (kg) e P_v é o preço de venda.

$$L_a = F_a - C_t \quad (\text{Equação 9})$$

Na qual:

L_a é o lucro anual (USD), F_a é o faturamento anual (USD) e C_t é o custo total de produção (USD).

2.5 Período de retorno

O período de retorno ou “*payback*” é uma análise fundamental na análise da viabilidade econômica, pois estima o tempo necessário para recuperar o investimento realizado no negócio (Lima Júnior *et al.*, 2015).

Para prever o número de anos necessários para o retorno financeiro, foi usada a Equação 10, conforme método utilizado por Singh e Gaur (2021).

$$N = \frac{\ln \left(1 - \left(\frac{C_{cc}}{\left[\frac{S_{pc} \cdot \left(C_{fp} \cdot \frac{M_f}{M_d} \right) \cdot M_d}{D} \right] \cdot D(1+i)^{j-i}} \right) \cdot (d-i) \right)}{\ln \left(\frac{1+i}{1+d} \right)} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

N é o tempo de retorno do investimento (anos), C_{cc} é o custo de capital total do secador (USD), i é a taxa de inflação (5,79%), d é a taxa de juros (13,75%), j é o número de anos considerado, D é o número de dias que o secador opera em um ano, S_{pc} é o preço de venda das frutas secas por kg, C_{fp} é o custo do produto fresco, M_f é a quantidade de produto fresco colocado dentro do secador (Kg) e M_d é a quantidade de lotes de secagem (refere-se a uma quantidade específica do produto desidratado em um único processo).

2.6 Análise de sensibilidade

Na análise de viabilidade econômica, pode ser utilizado como parâmetros o “pior cenário” ou a “média”. Optou-se pelo último, visto que a análise de sensibilidade contempla também o “pior cenário” (Lima Júnior *et al.*, 2015).

A análise de sensibilidade visa identificar os fatores que exercem influência nos resultados financeiros, levando em consideração uma variação de -50% e +50% do valor-base. Os dados encontrados nesse tipo de análise permitem traçar cenários baseados na análise da viabilidade econômica, verificando a viabilidade do secador diante de alterações de preços praticados no mercado (Lima Júnior *et al.*, 2015).

Foram construídos gráficos para explicar a influência do preço da uva *in natura*, preço de venda das passas, investimento inicial e tempo de secagem, com o objetivo de identificar melhor a sensibilidade dos parâmetros analisados.

Para realizar esse tipo de análise, é necessário calcular o Valor Presente Líquido (VPL), que é a soma dos valores presentes dos fluxos de caixa estimados em uma determinada aplicação, que são encontrados partindo de uma taxa de juros apropriada em determinado período de tempo, conforme Equação 11 (Lima Júnior *et al.*, 2015).

$$VLP = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - CF_0 \quad (\text{Equação 11})$$

Na qual:

VLP é o valor presente líquido, CF_0 é o investimento inicial, FC_j é o fluxo de caixa, i é a taxa de juros e j é o tempo.

Após encontrar o valor presente líquido, foi calculado o custo de oportunidade (TMA), isto é, a taxa correspondente ao retorno de um investimento, caso fosse realizada uma aplicação financeira. Para este trabalho, essa taxa foi considerada de 10% ao ano.

É importante fixar um parâmetro que possa ser comparado com a TMA. Para isso, foi calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR), ou seja, corresponde a uma taxa de desconto, que é aplicada a um determinado fluxo de caixa, e que quando for maior que TMA, mostrará um indicativo de que o investimento do projeto apresenta viabilidade (Lima Júnior *et al.*, 2015). Para encontrar o valor da TIR, foi utilizada a Equação 12.

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (\text{Equação 12})$$

Na qual:

FC_t é o valor presente das entradas de caixa (USD), I_0 é o investimento inicial (USD), TIR é a taxa interna de retorno (%), n é o tempo de desconto do último fluxo de caixa (ano) e t é o tempo de desconto de cada entrada de caixa (ano).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do estudo, serão apresentados e discutidos os resultados da análise da viabilidade econômica e da sensibilidade financeira para os dados encontrados nos experimentos realizados na primavera e verão.

3.1 Dados do processo de secagem da uva

Na Tabela 4, são apresentados os dados encontrados nos ensaios que serviram de parâmetros para a análise de viabilidade econômica. Foi possível estimar que, em média, o equipamento produz 2,31 kg de uva desidratada em 4,1 dias em 87 secagens por ano, utilizando sua capacidade máxima, que é de 9,6 kg.

Tabela 4 – Parâmetros para análise econômica do secador solar de exposição direta

Estação	Primavera		Verão			
	Secador	1	2	1	2	Média
Custo do secador	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD	372,61 USD
Capacidade uva <i>in natura</i>	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg	9,6 kg
Capacidade produtiva de passa	2,34 kg	2,35 kg	2,31 kg	2,27 kg	2,31 kg	2,31 kg
Tempo de* secagem para produzir 1 lote (dias)	4,5 dias	5 dias	3,5 dias	3,5 dias	4,1 dias	4,1 dias
Nº de secagem por ano	78	70	100	100	87	87
Produção anual	179,40 kg	164,5 kg	230 kg	227 kg	200,2 kg	200,2 kg
Custo de produção anual**	420,8 USD	419,09 USD	426,23 USD	426,34 USD	423,08 USD	423,08 USD
Faturamento anual***	936,46 USD	840,42 USD	1.200,6 USD	1.200,6 USD	1.044,52 USD	1.044,52 USD
Lucro anual	515,49 USD	421,33 USD	774,37 USD	774,26 USD	621,36 USD	621,36 USD

Fonte: Próprio autor (2023).

Notas: * Número de dias necessários para retirar um lote, levando em consideração que o processo de secagem era interrompido no período noturno; ** Levando em consideração que o próprio produtor rural vai operar o equipamento; *** Considerando que o produtor vende para os supermercados a 5,22 USD.

Os equipamentos mostraram melhor desempenho no verão, quando os picos de radiação solar foram maiores, se comparados aos dados obtidos na primavera, conforme os gráficos das Figuras 4, 5, 6 e 7. Nessa estação, o tempo médio de secagem de 9,6 kg foi de apenas 3,5 dias, aumentando a previsão para 100 secagens por ano. Considerando a carga utilizada nos ensaios, o tempo de secagem é bom em comparação com o tempo médio de secagem obtido por Tawfik *et al.* (2023), em que foram necessários 2,4 dias para realizar a secagem de 1,5 kg de uva em Zagagig no Egito.

Figura 4 – Temperatura de entrada e saída no secador solar (primavera)



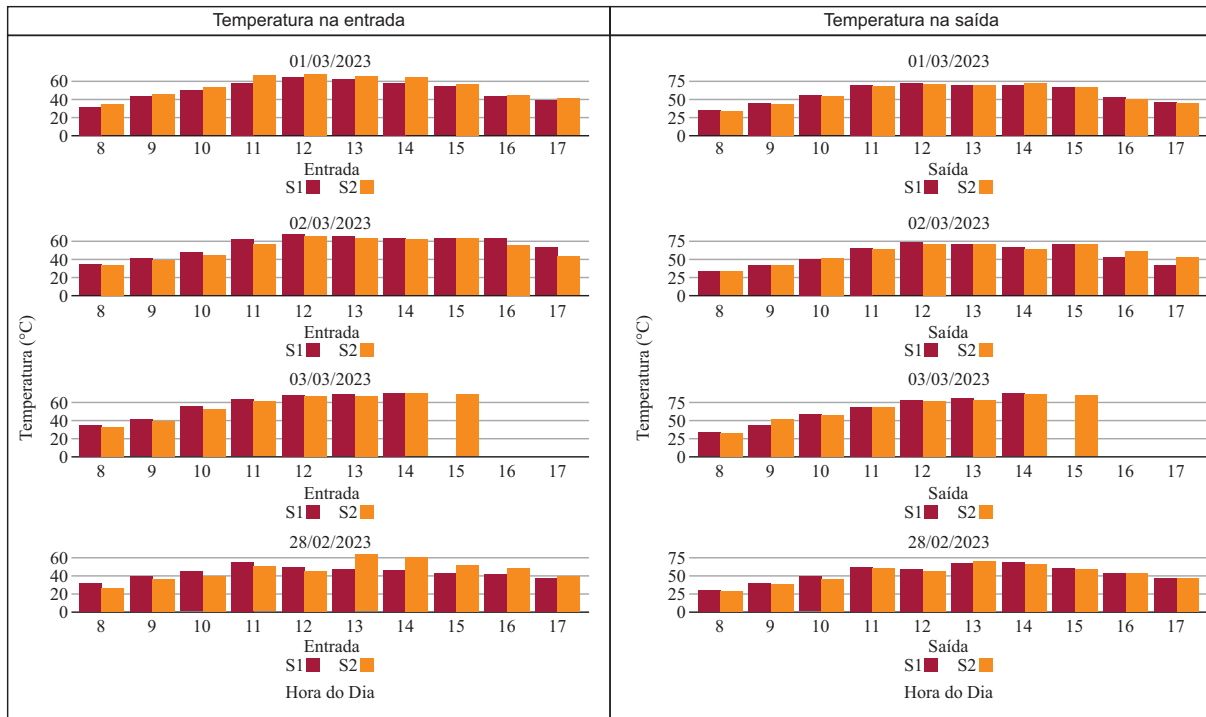
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 5 – Umidade de entrada e saída no secador solar (primavera)



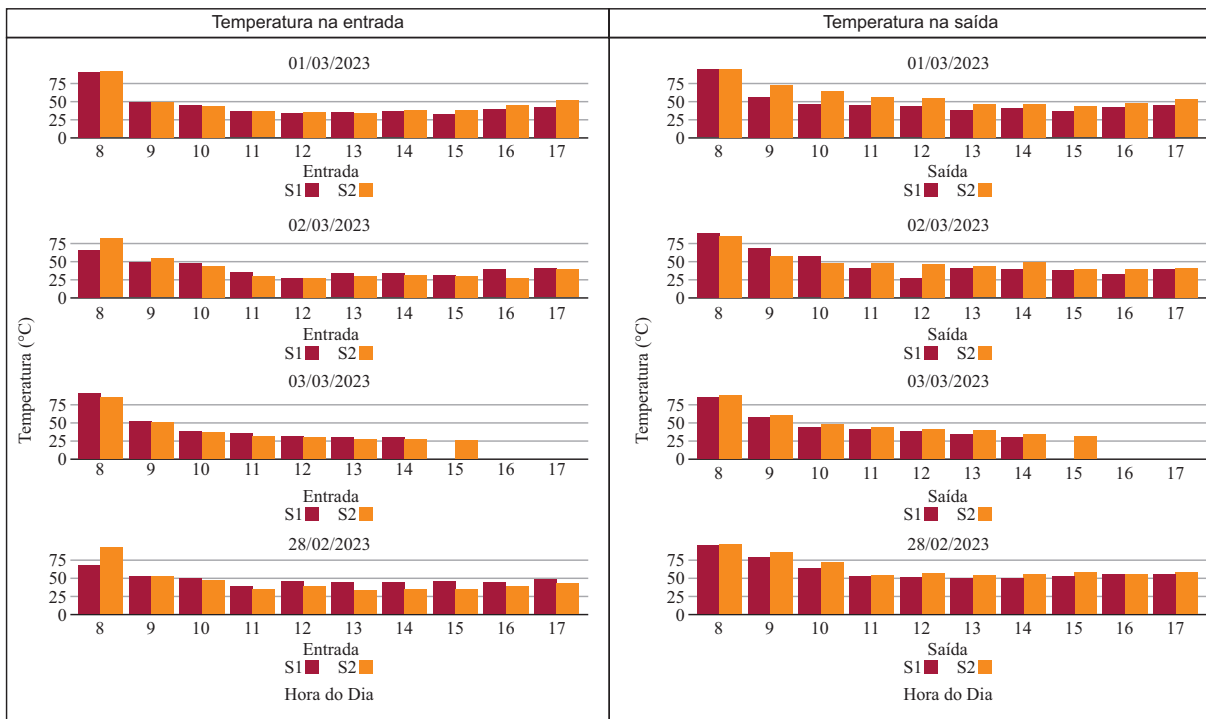
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 6 – Temperatura de entrada e saída no secador solar (verão)



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 7 – Umidade de entrada e saída no secador solar (verão)



Fonte: Próprio autor (2023).

3.2 Viabilidade econômica

No Vale do São Francisco, devido à distribuição de irradiação solar e a possibilidade de 2,5 safras anuais, é possível desidratar uva o ano todo, ou seja, 365 dias por ano. No entanto, para este trabalho foram considerados apenas 350 dias, uma vez que o equipamento precisa de alguns dias para manutenção preventiva e corretiva.

Assim, existe a possibilidade de o produtor utilizar o equipamento por 3.120 horas ou 87 lotes de

passa no período de um ano, considerando que cada lote a ser desidratado nesse equipamento requer, em média, 37,7 horas de secagem para produzir 2,3 kg de uva desidratada, conforme dados de experimentos realizados na primavera e no verão no Laboratório de Física e Energias Renováveis da Universidade de Pernambuco, *campus* Petrolina. Na Tabela 5, estão apresentados os principais dados encontrados nos experimentos realizados na primavera e no verão (média dos dois períodos), além de informações adicionais encontradas em banco de dados governamentais.

Tabela 5 – Parâmetros para análise econômica

Item	Parametrização
Custo de construção do secador	372,61 USD
Custo de manutenção	3% do custo de capital
Valor residual	10% do custo de capital
Taxa de juros	13,75%
Taxa de inflação	5,79%
Taxa de juro real	8,16%
Custo de eletricidade	0,15 USD/kwh
Imposto	8% do valor de venda
Capacidade do secador	10kg de uva <i>in natura</i>
Produção anual média do secador	200,2 kg
Vida útil do secador	20 anos
Tempo médio de secagem	4,1 dias
Custo médio da uva <i>in natura</i> (descarte)	0,10 USD/kg
Preço de venda uva-passa para mercado do produtor	3,04 USD/kg
Preço de venda da uva-passa para os supermercados	5,21 USD/kg

Fonte: Adaptado (Philip *et al.*, 2022).

O custo de capital do secador não representa risco à viabilidade econômica do equipamento, pois o faturamento anual é suficiente para cobrir as despesas, conforme dados apresentados na Tabela 4. O equipamento tem potencial para produzir 200,2 kg de uva-passa por ano, o que representa a possibilidade de apurar 621,36 USD de lucro em um ano de operação.

O tempo de retorno tem relação com o teor de umidade do produto que está sendo desidratado. A uva tem alto teor de umidade e, por isso, o secador deve ser capaz de manter uma temperatura interna do ar mais alta e o teor de umidade mais baixo, para que o armazenamento térmico aumente e o tempo de secagem diminua (Srivastava *et al.*, 2021). Na Tabela 6, são apresentados dados comparativos entre o tempo de secagem no equipamento deste trabalho com o tempo de secagem de outros autores.

Tabela 6 – Comparação do tempo de secagem da uva

Pesquisador/ano	Tipo de secador	Tempo de retorno
<i>Costa</i>	Exposição direta convecção forçada	9 meses
<i>Srivastava et al.</i>	Estufa natural	19 meses
<i>Mellalou et al.</i>	Estufa convecção híbrida	15 meses
	Estufa convecção híbrida e forçada	8 meses
<i>Elkhadraoul et al.</i>	Híbrido	19 meses
<i>Lutz e Cols</i>	Túnel	12 a 36 meses

Fonte: Próprio autor (2023).

A taxa de retorno encontrada neste estudo foi de 9 meses. Isso mostra que o risco do negócio é baixo, o capital pode ser recuperado mais rápido e sinaliza para a possibilidade do pequeno produtor começar um negócio de secagem de uvas com mais equipamentos.

3.3 Sensibilidade econômica

O investimento inicial para construção do secador solar utilizado neste trabalho e de operacionalização do processo de secagem realizado por um pequeno agricultor está em torno de 372,61 USD. O preço médio do produto *in natura* foi de 0,11 USD e de venda 5,22 USD.

Por se tratar de um produto agrícola, é possível que exista uma variação nos preços da matéria-prima e no preço de venda, apresentando reflexos nos custos de produção e, conseqüentemente, no faturamento. Na Tabela 7, são apresentados os parâmetros que nortearam a análise de sensibilidade.

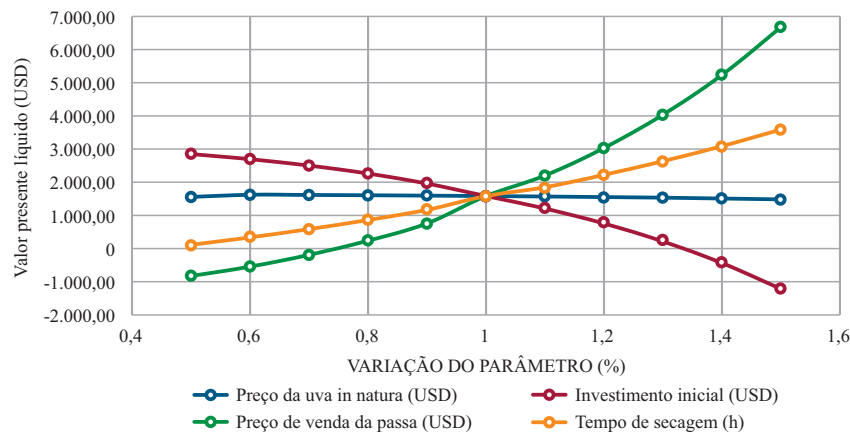
Tabela 7 – Parâmetros para análise de sensibilidade econômica

Item	Parametrização
Investimento inicial	372,61 USD
Valor Presente Líquido (VPL)	1572,71 USD
Taxa Interna de Retorno (TIR)	136%
Custo de Oportunidade (TMA)	10%
Lucratividade	5,22 USD
Tempo de <i>Payback</i>	9 meses

Fonte: Próprio autor (2023).

A análise de sensibilidade da possibilidade de produção e comercialização da uva-passa permitiu verificar que a variação dos parâmetros do preço *in natura* da uva, investimento inicial e tempo de secagem podem tornar o VPL positivo (Figura 8). Se o preço da uva *in natura* aumentar ou diminuir em 50%, o VPL ainda será positivo, indicando a viabilidade econômica da secagem.

Figura 8 – Análise da sensibilidade financeira da produção e comercialização da uva-passa



Fonte: Próprio autor (2023).

A variação do investimento inicial, preço de venda e tempo de secagem podem tornar o investimento mais atrativo, obtendo-se um VPL positivo, conforme os dados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Variação do VPL conforme o parâmetro analisado

Parâmetro	Variação dos valores	Variação do VPL (R\$)
Preço <i>in natura</i> da uva (USD)	0,03	1.554,32
	0,04	1.621,65
	0,05	1.614,71
	0,06	1.605,99
	0,08	1.595,11
	0,10	1.581,50
	0,12	1.567,89
	0,14	1.551,59
	0,17	1.531,99
	0,21	1.508,49
Preço de venda da uva-passa (USD)	0,25	1.480,29
	1,67	-829,70
	2,09	-546,23
	2,62	-191,22
	3,27	235,24
	4,09	757,27
	5,11	1.581,50
	6,13	2.201,75
	7,36	3.030,04
	8,83	4.036,57
Investimento inicial (USD)	10,60	5.233,47
	12,72	6.675,22
	122,10	2.846,62
	152,62	2.692,48
	190,78	2.499,77
	238,47	2.258,94
	298,09	1.957,04
	372,61	1.581,50
	447,13	1.205,20
	536,56	753,56
Tempo de secagem (h)	643,87	211,63
	772,64	-438,67
	927,17	-1.219,06
	1842	111,09
	2047	334,94
	2274	282,86
	2527	859,13
	2808	1.165,99
	3120	1.581,50
	3432	1.847,43
3775	2.221,99	
4153	2.634,77	
4568	3.087,96	
5025	3.587,02	

Fonte: Próprio autor (2023).

O uso de materiais reciclados na construção do equipamento de secagem, ou sua aquisição por meio de associações em parceria com o governo, pode diminuir o investimento inicial e, conseqüentemente, aumentar o VPL e o tempo de retorno. No entanto, podemos observar que os parâmetros mais importantes para a viabilidade econômica da produção e comercialização da uva-passa são o preço do produto a ser desidratado e o preço de venda do produto final, uma vez que interferem diretamente no custo de

produção e no faturamento, respectivamente.

Quanto maior for o preço de venda da uva-passa, maior será o VPL, indicando que este parâmetro é fundamental para a viabilidade econômica. Essa variável impacta diretamente na receita e margem de lucro, tornando-se um ponto de equilíbrio do negócio, tornando-o mais ou menos competitivo no mercado. No gráfico da Figura 8, podemos verificar que o VPL começa a ficar positivo quando o valor de venda chega a 3,27 USD, ou seja, a partir desse ponto o processo de secagem começa a se mostrar economicamente viável.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O secador solar se mostrou econômico e de fácil construção, revelando um custo médio de produção anual de 423,08 USD, lucro anual de 621,36 USD e período de retorno de 9 meses. Quanto maior for o preço de venda da uva-passa produzida, menor será o tempo de retorno e maior será o VPL, sendo uma alternativa sustentável em relação à secagem que utiliza equipamentos elétricos.

O secador solar utilizado na pesquisa pode ser utilizado por pequenos produtores que moram em áreas rurais onde existem plantações de uva, reduzindo o desperdício, agregando valor ao produto e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do Vale do São Francisco.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Resolução RDC nº 272/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis. Brasília, DF: Diário Oficial, 23 set. 2005.

CALDEIRA, V.; GUIMARÃES, S.; FREITAS, S.; DE CÁSSIA NASSUR, R. Avaliação da manutenção da qualidade de uvas passa BRS Vitória após aplicação de pré-tratamento químico. **Enciclopédia Biosfera**, n. 15, p. 27, 2018. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/515>. Acesso em: jul. 2023.

COSTA, N. L. **Desenvolvimento e análise experimental de um sistema de secagem solar em regiões com condições meteorológicas distintas**. Orientador: Marcelo Bezerra Grilo. 2022. 240 f. Tese (Doutorado). Curso de engenharia de Processos. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/24988>. Acesso em: mar. 2023.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR E EÓLICA SALVO BRITO. Disponível em: www.cresesb.cepel.br. Acesso em: jul. 2023.

EKKA, J. P.; PALANISAMY, M. Performance assessments and techno and enviro-economic analyses on forced convection mixed mode solar dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 5, p. e13675, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13675> Acesso em: ago. 2023.

ELKHADRAOUI A.; KOOLI S.; HAMD I.; FARHAT A. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. **Renew. Energy**, 2015, 77:1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.090>. Acesso em: jul. 2023.

FARIAS, R. P. **Secagem de banana em estufa: efeitos térmicos e geométricos**. 2011. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, PB, 2011.

GRILO, M. B.; LEITE, A. P. F.; ANDRADE, R. R. D.; BELO, F. A.; MEUNIER, F. Experimental thermodynamic cycles and performance analysis of a solar powered adsorptive icemaker in hot humid climate. **Renewable Energy**, v. 32, p. 697-712, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.002>. Acesso em: ago. 2023.

HALLAK, H. *et al.* The staircase solar dryer: design and characteristics. **Renewable Energy**, v. 7, n. 2, p. 177-183, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00127-1](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00127-1). Acesso em: jul. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de uva em 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/uva/br>. Acesso em: jul. 2023.

JAIRAJ, K. S.; SINGH, S. P.; SRIKANT, K. A review of solar dryers developed for grape drying. **Solar energy**, v. 83, n. 9, p. 1698-1712, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.008>. Acesso em: jul. 2023.

LIMA JÚNIOR, C.; LIMA, R. L. F.; LIBERAL, B. G.; GUERRERO, J. R. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. (2015). Viabilidade econômica do uso energético de lenha da caatinga sob manejo sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 156-166. Disponível em: <https://11nq.com/JjAwd>. Acesso em: jul. 2023.

MELLALOU, A.; RIAD, W.; BACAOUI, A.; OUTZOURHIT, A. Impact of the greenhouse drying modes of two-phase olive pomace on the energy, exergy, economic and environmental (4E) performance indicators. **Renewable Energy**, n. 210, p. 229-250, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.074>. Acesso em: jul. 2023.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal vascular brasileiro**, v. 16, p. 88-91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.041117>. Acesso em: out. 2023.

MUSTAYEN, A. G. M. B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Performance study of different solar dryers: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 34, p. 463-470. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.020>. Acesso em: mai. 2023.

ONU - ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. New York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://encurtador.com.br/xyAX5>. Acesso em: out. 2023.

PALHARES, J. C.P.; OLIVEIRA, V. B. V.; FREIRE JUNIOR, A.; PRADO, H. A. **Consumo e produção responsáveis: contribuições da Embrapa**. Brasília: EMBRAPA, 2018.

PHILIP, N.; DURAI PANDI, S.; SREEKUMAR, A. Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce. **Renewable Energy**, 199, 613-627, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.148>. Acesso em: abr. 2023.

SINGH, P.; GAUR, M. K. (2021). **Environmental and economic analysis of novel hybrid active greenhouse solar dryer with evacuated tube solar collector**. Sustainable Energy Technologies and Assessments. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101428>. Acesso em: jul. 2023.

SRIVASTAVA, A.; ANAND, A.; SHUKLA, A.; KUMAR, A.; BUDDHI, D.; SHARMA, A. A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5463-6_42. Acesso em: jun. 2023.

TAWFIK, M. A.; OWEDA, K. M.; ABDEL-WAHAB, M. K.; ABD ALLAH, W. E. A New Mode of a Natural Convection Solar Greenhouse Dryer for Domestic Usage: Performance Assessment for Grape Drying. **Agriculture**, n. 13, p. 1046, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051046>. Acesso em: jun. 2024.

TBCA - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: out. 2023.

_____. Universidade de São Paulo (USP). **Food Research Center (FoRC)**. Versão 7.2. São Paulo, 2023. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>. Acesso em: out. 2023.

TIWARI, S.; TIWARI, G. N.; AL-HELAL, I. M. Development and recent trends in greenhouse dryer: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 65, p. 1048-1064, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.070>. Acesso em: jul. 2023.

TORO, J. D. N.; RUSCHEL, C. S.; KRENZINGER, A. Estudo da transmitância do policarbonato alveolar em diferentes ângulos de incidência para a cobertura de um coletor solar passivo. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 6, n. 1, p. 11-18, 2015.

VUATAZ, G.; MEUNIER, V.; ANDRIEUX, J. C. Abordagem TG-DTA para projetar métodos de referência para determinação do teor de umidade em alimentos em pó. **Química alimentar**, v. 2, n. 122, p. 436-442. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609007675>. Acesso em: mar. 2023.

ZANELLA, V. Embrapa. ‘**BRS Vitória**’, a pequena notável. Disponível em: <http://surl.li/jypdr>. Acesso em: ago. 2023.

FEIRAS ORGÂNICAS E AGROECOLÓGICAS SOB A DIMENSÃO DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS (ARS)

Organic and agroecological fairs from the perspective of Social Network Analysis (SNA)

Luciana Girão de Vilhena

Economista. Doutora em Economia Rural. Professora do Centro de Ciências Sociais da Universidade Estadual Vale do Acaraú. Av. Padre Francisco Sadoc de Araújo, 850, Betânia. CEP: 62040-370, Sobral, Ceará, Brasil. luciana_girao@uvanet.br

Francisco Laercio Pereira Braga

Economista. Doutor em Economia Rural. Professor da Universidade Estadual do Ceará. Av. Dr. Aramis Paiva, 460, Centro. CEP: 62700-000, Canindé, Ceará, Brasil. laercio.braga@uece.br

Filipe Augusto Xavier Lima

Engenheiro agrônomo. Doutor em Extensão Rural. Professor do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977, Bloco 826, Campus do Pici. CEP: 60020-181, Fortaleza, Ceará, Brasil. filipeaxlima@ufc.br

Maione Rocha de Castro Cardoso

Economista. Doutora em Desenvolvimento Sustentável. Professora do Centro de Estudos Sociais Aplicados da Universidade Estadual do Ceará. Av. Dr. Silas Muguba, 1700, Campus do Itaperi. CEP: 60714-110, Fortaleza, Ceará, Brasil. maione.rocha@uece.br

Glênio Piran Dal' Magro

Zootecnista. Doutor em Agronegócios. Professor da Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense. Av. Almirante Ary Parreiras, 503, Vital Brazil, Santa Rosa. CEP: 24230-340, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. gleniopdm@id.uff.br

Resumo: Este estudo objetivou analisar a rede de produtos orgânicos nas feiras livres orgânicas e agroecológicas de Fortaleza sob a perspectiva do acesso e da troca de informações entre os agentes da rede. Para isso, foram realizadas entrevistas com 42 produtores/feirantes de cinco feiras de Fortaleza em 2023 para a identificação da análise estrutural das redes sociais das feiras, por meio da aplicação do software UCINET 6.2. Os resultados mostraram densidade na rede inferior a 30%, o que implica a baixa velocidade na circulação das informações. Além disso, foi possível identificar atores-chave em cada uma das feiras visitadas, principalmente aqueles que reduzem caminhos e detêm poder no processo de repasse de informações para o grupo. Conclui-se a necessidade de efetivas políticas públicas voltadas para os produtores/feirantes das feiras de Fortaleza.

Palavras-chave: produtos orgânicos, network, comercialização, políticas públicas.

Abstract: This study aimed to analyze the organic products network in organic and agroecological open-air markets in Fortaleza from the perspective of access and exchange of information between network agents. To this end, interviews were carried out with 42 producers/vendors from five fairs in Fortaleza in 2023 to identify the structural analysis of the fairs' social networks through the application of the UCINET 6.2 software. The results showed network density of less than 30%, which implies low speed in the circulation of information. Furthermore, it was possible to identify key actors in each of the fairs visited, especially those who reduce paths and hold power in the process of passing on information to the group. It concludes that there is a need for effective public policies aimed at producers/vendors at Fortaleza's fairs.

Keywords: organic products, network, commercialization, public policy.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura orgânica é regulamentada pela Lei 10.831/2003, definindo-a como um sistema agrícola que busca a produção sustentável de alimentos e outros produtos, com responsabilidade ambiental, social e econômica (Brasil, 2003).

De acordo com Lima *et al.* (2023), o País é detentor de mais de 351 milhões de hectares aptos para a produção agropecuária, dos quais cerca de 1,2 milhões são destinados à produção de orgânicos. Por esse motivo, tal setor tem se destacado, visto que o Brasil está conseguindo se consolidar como grande produtor e exportador de alimentos orgânicos, o que representa uma movimentação de aproximadamente R\$ 5,8 bilhões somente em 2020. No estado do Ceará há, aproximadamente, 1.350 produtores de orgânicos, com crescimento anual médio de 20% nos últimos dez anos, apesar da diminuição da produção durante a pandemia de Covid-19 (Lima *et al.*, 2023).

Nesse panorama, a agricultura orgânica adquire cada vez mais importância no Ceará ao longo das últimas décadas, impulsionada pelas relações entre os diversos agentes que atuam nesse sistema produtivo, como os movimentos sociais, as organizações governamentais e não governamentais, as instituições de ensino e de apoio institucional, os produtores, os feirantes e consumidores.

A pesquisa científica sobre redes sociais na agricultura, em especial no segmento orgânico, é limitada, o que dificulta a obtenção de conclusões precisas sobre a produção de orgânicos, os perfis de produtores e consumidores e a aplicação de políticas de apoio e fomento. Na cidade de Fortaleza, capital do Ceará, a produção e comercialização de orgânicos ainda é pouco representativa, o que pode indicar a ineficiência produtiva e deficiência nas interações entre os atores desse sistema produtivo. Dessa maneira, torna-se crucial analisar essa rede social para gerar subsídios que possam potencializar as estratégias de produção, processamento e distribuição da produção orgânica na capital.

A partir do contexto apresentado, surge a seguinte questão orientadora da pesquisa: como se configura a rede social (*social network*) estabelecida entre os diversos agentes envolvidos – direta ou indiretamente – na troca de informações sobre a produção de orgânicos em Fortaleza?

O presente estudo tem como objetivo analisar a rede social das feiras livres orgânicas e agroecológicas de Fortaleza sob a perspectiva do acesso e da troca de informações entre os agentes da rede. Especificamente, busca-se: i) identificar o perfil dos produtores/vendedores de orgânicos das principais e mais conhecidas feiras orgânicas/agroecológicas de Fortaleza; e ii) examinar as interações sociais entre os atores da *network* de orgânicos com uso do *software* UCINET na versão 6.2, ferramenta importante para a Análise de Rede Social (ARS).

Nessa esteira, pretende-se trazer importantes contribuições ao entendimento da construção da estrutura da rede de produção e comercialização de produtos orgânicos em Fortaleza, dada a ausência de estudos aprofundados sobre o tema no Ceará. A representação e análise da organização da rede poderão subsidiar futuras políticas públicas que tenham objetivo de acrescentar valor à atividade e, consequentemente, delinear novas trajetórias de oportunidades que valorizem os produtos comercializados e a própria vocação desses produtores.

2 O MERCADO DE PRODUTOS ORGÂNICOS DENTRO DE UM CONTEXTO DE REDES

O fenômeno da ampliação da produção orgânica está relacionado à tendência global, em que se presencia, segundo Parra Filho *et al.* (2018), forte elevação na proporção da produção orgânica entre os próprios agricultores convencionais que se utilizam, principalmente, do crescente uso de recursos externos para financiar os seus cultivos. De forma complementar a essa constatação, Fonseca (2009) argumenta sobre a dinâmica da agroecologia, agregando-a em uma série de princípios com foco na conservação dos recursos naturais.

Caldas *et al.* (2012) enumeram um conjunto de vantagens decorrentes do uso dos produtos orgânicos, sendo uma delas o papel de influenciar o social, pois reflete não somente o nível de consciência

dos consumidores, mas, também, a forma como são percebidos diante da capacidade dos produtores em adotar estratégias que lhe assegurem o acesso aos mercados (internos ou externos).

Ferreira e Coelho (2017) enfatizam, por conseguinte, a dificuldade e a complexidade de induzir os consumidores que, habitualmente, utilizam os produtos oriundos da agricultura convencional a reverterem as suas demandas para os produtos orgânicos, principalmente quando acreditam que os preços são mais elevados que os convencionais. Esses autores afirmam, inclusive, que devido à complexidade inerente ao sistema, os consumidores, muitas vezes, não consideram os produtos orgânicos e convencionais como bens substitutos, o que dificulta ainda mais esse mercado.

Esses aspectos – presenciados na cadeia produtiva de produtos orgânicos – limitam a ampliação dos consumidores e dos produtores, pois cria-se todo um arcabouço de regras e normativas de certificações de alto custo, em que aqueles que têm acesso às fontes de recursos visualizam um mercado promissor (atividade de negócio), esquecendo a preocupação inicial, que é a saúde do ambiente e das pessoas (Feiden, 2005; Finatto, 2016).

Para Mattei e Michellon (2021), a produção orgânica brasileira é constituída em múltiplos cenários de grande diversidade, em que um dos mais representativos é aquela agricultura orgânica estabelecida com base na produção de subsistência de comunidades rurais e familiares. Essa afirmação, segundo Finatto (2016), condiz com muitos estudos elaborados ao longo da década de 2010, em que a agricultura familiar camponesa é o segmento socioprodutivo que melhor se adapta a tal sistema por deter características compatíveis com a agroecologia, pois é fortemente pautada no capital ecológico (Assis, 2006; Altieri, 2012; Arrais *et al.*, 2022). Ainda, de acordo com Mattei e Michellon (2021), ocorreu aumento da produção oriunda da agricultura orgânica em 16 estados brasileiros, enquanto os demais presenciaram reduções, dentre eles, destaca-se o estado do Ceará, o qual reduziu o número de estabelecimentos que trabalham com orgânicos.

Diante de toda a complexidade referente ao sistema produtivo orgânico e às suas particularidades, notam-se diferentes formas de relacionamentos existentes dentro desse ambiente, envolvendo, muitas vezes, diversas estratégias adotadas. Um dos caminhos para se compreender tais relações é por meio do conceito de *network*, que auxilia no entendimento da organização do espaço contemporâneo.

Na análise de *network*, a estrutura que emerge dessa interrelação se traduz na existência de uma rede social que, segundo Menéndez (2003), faz referência a um sistema de relações sociais ou interpessoais entre os atores de uma organização e/ou sociedade. Segundo Monasterio (2017), essa ARS – com início de seus estudos na década de 1950 – baseia-se na visão de que os sistemas podem ser compreendidos por meio das configurações das relações entre um grupo de atores de um ambiente. A ideia é de que essas, por sua vez, apresentem estruturas, sendo essa a base da ARS.

O conceitual de ARS foi estudado na década de 1990, por Wasserman e Faust (1994), para compreender as possíveis conexões existentes entre os agentes sociais e as suas relações, podendo ocorrer entre pessoas, empresas, associações, cooperativas etc. Tais relações identificadas – também denominadas de vínculos – são, muitas vezes, invisíveis, dinâmicas e sem limites, o que as tornam de difícil observação (Marteleto, 2001; Capra, 2002; Tomaél *et al.*, 2005). Nesse sentido, a ARS pode, dentre outras possibilidades, envolver trocas de conteúdo, informações e recursos entre os atores que formam uma determinada organização ou grupo social (Moolenaar; Slegers, 2010; Bottoni, 2016).

Otte e Rousseau (2002) colocaram a ARS como pilar estratégico nas pesquisas envolvendo estruturas sociais e observaram, dentro de um cenário de trocas, a presença de relação/vínculo de atores/agentes. Assim, a ARS pode assumir diferentes aspectos de interação de pessoas no que se refere, por exemplo, à troca de informações e recursos entre os atores da rede (Alejandro; Norman, 2005; Bottoni, 2016). Quando ocorre a troca de informações ou de recursos entre os atores, tem-se um quadro de geração de conhecimento e aprendizado e, conseqüentemente, possibilidades inovativas (Bottoni, 2016).

Dessa maneira, para que se possa entender o funcionamento e a identificação das relações existentes entre os atores de uma determinada rede social, Alejandro e Norman (2005) colocam que a estrutura de

uma rede é analisada com a utilização de indicadores, a saber: a) de densidade, que revela o nível de conectividade da rede em termos percentuais. Ou seja, há interação entre os atores, que pode ser baixa ou alta (Alejandro; Norman, 2005; Zhang, 2010); b) centralidade, que indica as conexões dos nós com os demais agentes da rede. Nesse caso, são influenciados pelos vínculos em um nó (Alejandro; Norman, 2005; Bonacich, 1987; Otte; Rousseau, 2002); c) centralização, em que o nó assume posição central ligado aos demais nós da rede (Alejandro; Norman, 2005; Machado, 2012); d) a intermediação, que se refere à frequência em que os atores se colocam entre as ligações de outros atores (Balestrin et al., 2010); e e) proximidade, que está relacionado ao nível de proximidade de um ator da rede com os outros atores (Zhang, 2010).

Para Filippini *et al.* (2020), a análise de redes sociais (ARS) é o processo formal de compreender as relações sociais entre os atores de uma estrutura social que emerge das interações em um grupo de atores. Paula *et al.* (2017) apontam que a colaboração através da rede de inovação favoreceu o próprio conceito de inovação, o que gerou aumento no número de patentes.

Conforme apontou Braga (2022), observar o comportamento dos atores produtores agrícolas é parte importante para compreender o que se propõe enquanto rede articulada, demonstrando que se faz necessário o desenvolvimento articulado entre os atores a fim de fortalecer a sua capacidade produtiva através das redes sociais.

Diante desse cenário, o conceito de redes – dentro de um ambiente de agricultura orgânica – desempenha um papel fundamental, pois permite identificar e compreender as conexões colaborativas, principalmente entre os agricultores. De acordo com Navarro (2001), o uso de redes sociais é importante para exibir as relações de grupos de produtores rurais, pobres, que se inserem dentro de um contexto de desenvolvimento rural sustentável. Ou seja, o autor coloca em evidência que a estrutura dessa rede de relações de produtores rurais liga-se diretamente com a própria capacidade produtiva, o que possibilita agregação de valor ao processo.

A ideia de Navarro (2001) é complementada, ainda, por Paula *et al.* (2017), que deixam evidente que as redes sociais em ambientes de produtores rurais podem auxiliar a troca de conhecimento e ideias novas que circulam em grupos menores, além da disseminação de conhecimento e aprendizado entre os agentes locais da rede. Nesse sentido, Paula *et al.* (2017) inserem elementos como cooperação com Institutos de Ensino Superior (IES) para elevar a possibilidade de inserção de inovação no centro do processo produtivo desse grupo. Filippini *et al.* (2020) corroboram essa discussão teórica ao colocar a inovação agrícola como influenciada pela rede social dos produtores. Contudo, Filippini *et al.* (2020) reforçam que a disseminação de tecnologias tem as suas desvantagens, pois pode ser fonte de exclusão social para grupos que não conseguem compreendê-la e dominá-la.

Gusson (2006) reforça, em seu estudo empírico desenvolvido no Rio Grande do Sul, o alto nível de conscientização dos camponeses nas feiras ecológicas, onde seguem a mesma lógica das feiras orgânicas e agroecológicas. Santos (2010), ao estudar um conjunto de feiras agroecológicas no estado da Paraíba, conseguiu detectar a questão da insubordinação dos camponeses ao capital, pois preferiam entregar os seus produtos diretamente ao consumidor e obter novas experiências com as trocas que ocorrem nas feiras, evitando atravessadores e/ou grandes varejistas.

Essa conjuntura teórica evidencia a retomada dos estudos sobre a importância das feiras nos últimos anos da década de 2010 como meio de fortalecer os canais de comercialização de produtos orgânicos e agroecológicos advindos, principalmente, da agricultura familiar. Ou seja, as feiras assumiram posicionamento ativo para favorecer a produção sustentável no apoio à agricultura familiar (Contreras, 2019; Lage et al., 2020). As feiras contribuem, ainda, para o estabelecimento de relações de confiança entre os agricultores e consumidores, de modo a promover transformações sociais como, por exemplo, nos padrões de produção, consumo e desenvolvimento socioeconômico (Lages et al., 2020).

Diante dessa conjuntura, estudar as feiras sob a perspectiva de ARS torna-se relevante para compreender o seu funcionamento e estrutura de apoio, caso existente. Essas feiras de alimentos aproxima, ain-

da, o produtor do consumidor, o que favorece a permanência das feiras nos centros urbanos, executando a sua função social e cultural (Santos et al., 2018).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no município de Fortaleza, estado do Ceará, nas cinco feiras de produtos orgânicos/agroecológicos locais mais conhecidas e organizadas por organizações não governamentais (ONGs), em 2023, são elas: a) feira da Gentilândia; b) feira do Parque Adahil Barreira; c) feira do Rio Mar Kennedy Shopping; d) feira do Mercado dos Pinhões; e e) feira do Centro de Formação e Capacitação Frei Humberto, esta última, com produtos oriundos do Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST). A imersão envolveu entrevistas *in loco* com pessoas (produtores que expõem seus produtos para comercialização nesses espaços) que desenvolvem os seus trabalhos nas feiras visitadas.

Dessa maneira, o processo metodológico escolhido caracteriza-se como pesquisa de campo e estudo de caso a fim de explorar questões que auxiliam, não apenas na descrição da situação encontrada, mas, também, na identificação das relações invisíveis inerentes à rede (Gray, 2012). Para a entrevista, elaborou-se um questionário semiestruturado que foi aplicado junto aos agentes (atores) da rede de produtores e vendedores de produtos orgânicos/agroecológicos das feiras de orgânicos/agroecológicos de Fortaleza. O questionário dividiu-se em dois blocos básicos: o primeiro questiona se esses atores participam de associações, cooperativas ou grupos religiosos; enquanto o segundo bloco explora se outros produtores ou instituições fornecem informações sobre a produção e a comercialização dos produtos em Fortaleza.

Em termos de amostra, essa foi feita por conveniência, pois não havia conhecimento prévio da quantidade de feirantes existentes nas feiras. Por isso, ao se chegar nas feiras, todos aqueles identificados como produtores/feirantes de produtos orgânicos/agroecológicos foram entrevistados em sua totalidade. Ao todo, foram 42 entrevistados, nas feiras orgânicas/agroecológicas de Fortaleza.

Em seguida, a partir dos resultados, foi possível organizar os dados por meio do uso de matriz quadrada, que segundo Hanneman e Riddle (2005) e Menéndez (2003) e Haythornthwaite (1996), possibilita utilizar os instrumentos matemáticos, a saber: matrizes e grafos. Deve-se ressaltar que, nessa etapa da pesquisa, os entrevistados foram codificados para serem transportados para o *software* de redes sociais – UCINETE, o qual auxilia a identificação da análise estrutural das redes. Ao final, a tabulação foi transformada em uma matriz quadrada “*ij*”, de modo a representar as relações entre os atores. Assim, atribuíram-se valores binários para presença ou ausência de relação, em que, caso constatada a existência de relação, esta foi representada por número “1”, caso contrário, representou-se a relação no par por “0” (Braga, 2022).

Menéndez (2003) reforça a importância da consolidação dos dados da rede social por meio do uso da teoria dos grafos, que é muito útil para ARS. Cada grafo, portanto, representa-se com o $G(N, L)$ e consiste em dois conjuntos de informações, são eles: i) um conjunto de nós (vértices): $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_g\}$; ii) um conjunto de linhas (também chamado de arcos ou arestas) que ligam pares desses nós e são representados por $L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_L\}$ (Braga, 2022).

Por último, para a identificação da estrutura da rede foram mensurados os seguintes indicadores a partir da noção de posição central:

- a) indicadores de densidade (*density*);

$$\delta = \frac{L}{g(g-1)} \quad (\text{Equação 1}),$$

em que g é o número de vértices do grafo e L é o número de arcos observados entre eles (Lazega; Higgins, 2014; Braga, 2022).

b) indicadores de centralidade (*degree centrality*);

$$C'_{Di} = \frac{\sum_j x_{ij}}{g - 1} \quad (\text{Equação 2}),$$

em que: x_{ij} é o valor do laço de i a j (são atores da rede); g é o número de atores da rede; e o valor máximo de laços é de $g - 1$ (Wasserman; Faust, 1994; Lazega; Higgins, 2014; Braga, 2022).

c) indicadores de intermediação (*betweenness centrality*);

$$C'_{Bi} = \frac{\sum_{j < k} K_{g_{jk}}(i)}{g_{jk}} \quad \text{para } i \neq j, k \quad (\text{Equação 3}).$$

Esse indicador, segundo Lazega e Higgins (2014, p. 44), “[...] representa o conjunto dos geodésicos entre j e k passando por i ; g_{jk} representa o conjunto dos geodésicos entre j e k ; $g_{jk}(i)$ é um caminho entre j e k passando por i ”.

Por último, observou-se a Centralidade de Bonacich para identificar os atores centrais que estão mais próximos de atores com grande centralidade, além de assegurar a ampla relação na rede, justificando, portanto, a sua análise para aferir a influência econômica e política dos atores nas redes analisadas (Hanneman; Riddle, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta, na primeira etapa, os dados descritivos referentes ao levantamento feito em campo nas cinco feiras orgânicas/agroecológicas que ocorrem em Fortaleza. Na segunda parte, identificam-se as redes sociais de relação de troca de informações entre os produtores e discutem-se os seus significados conforme a literatura da área.

4.1 Caracterização das feiras orgânicas e agroecológicas de Fortaleza

As feiras orgânicas e agroecológicas que ocorrem em Fortaleza, estado do Ceará, focam-se na venda proveniente da agricultura familiar que acontece em diversas cidades do interior do estado, com realidades ricas em características individuais, principalmente em sua diversificação de ocupação do espaço e de tradições acumuladas. Assim, no total, existem seis feiras que ocorrem de maneira alternada durante os meses do ano, divididas em semanais, quinzenais e mensais. Todas as feiras foram visitadas e apenas uma foi excluída, pois era formada por três produtores que também atuavam em outras feiras da capital e já haviam sido entrevistados para esta pesquisa.

A primeira feira visitada foi a Feira Agroecológica do Parque Adahil Barreto, que é apoiada e promovida pelas secretarias estaduais de Desenvolvimento Agrário (SDA), Secretaria do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (SEMA), pela Fundação Centro de Educação Popular em Defesa do Meio Ambiente (CEPEMA) e pela Rede EcoCeará. Os produtos são originários, em sua grande maioria, da própria Região Metropolitana de Fortaleza e da região do Maciço de Baturité. Essa feira é composta por 12 produtores, e 91,66% foram entrevistados, sendo 83,3% do sexo masculino (Tabela 1).

A segunda feira visitada foi a Feira do Rio Mar Kennedy, que ocorre em parceria com a Rede EcoCeará e com apoio da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Mudanças climáticas (SEMA), com objetivo de promover a saúde, o bem-estar aos consumidores e gerar renda aos agricultores ecológicos da feira. A feira é formada por cinco produtores (três homens), e todos foram entrevistados no mesmo dia da visita.

Na terceira feira – Mercado dos Pinhões –, constatou-se o apoio organizacional da Associação para o Desenvolvimento da Agropecuária Orgânica (ADAO) e da Secretaria de Cultura de Fortaleza (Secultfor). Nessa feira, os produtores agroecológicos recebem certificação que confirma o não uso de agrotóxicos. A feira é composta por quatro produtores, tendo sido três entrevistados.

Tabela 1 – Quantidade de entrevistados por feira e gênero

Feira	Quantidade de entrevistados (A)	Quantidade de Produtores e feirantes (B)	(A/B) (%)	Sexo	Características
Parque Adahil Barreto	10	12	83,33	F = 2 M = 8	Rua Major Virgílio Borba, 177, Dionísio Torres, Sábados, 7h às 12h
Rio Mar Kennedy	5	5	10,00	F = 2 M = 3	Shopping Rio Mar Kennedy. Quinzenalmente aos sábados, 7h às 12h.
Mercado dos Pinhões	3	4	75,00	F = 1 M = 2	Praça Visconde de Pelotas, s/n, Centro. Terças-feiras, 5h às 13h.
Praça da Gentilândia	9	12	75,00	F = 4 M = 5	Av. Treze de maio, s/n, Benfica. No segundo sábado do mês, 5h às 13h.
Centro de Formação e Capacitação Frei Humberto (MST)	15	20	75,00	F = 9 M = 6	Rua Capitão Gustavo, 3842, São João do Tauape. Segundo sábado do mês, 7h às 13h.
Total	42	53	79,24	F = 8 M = 24	

Fonte: Elaboração própria (2023).

A penúltima feira – Praça da Gentilândia – é uma das mais tradicionais e antigas de Fortaleza e ocorre no bairro universitário do Benfica desde 2010, com objetivo de incentivar a permacultura, promover a alimentação saudável e a biodiversidade. Para atrair maior público consumidor, a organização desenvolve eventos e atividades culturais nos encontros mensais e estimula o trabalho voluntário e coletivo, buscando valorizar produtos locais e naturais. Aproximadamente 12 produtores (cinco homens) atuam na feira, porém, apenas nove produtores/feirantes estavam no dia da entrevista.

Por fim, a última visita foi à Feira Agroecológica e Solidária do Centro de Capacitação e Formação Frei Humberto, com produtores do MST. Essa feira é diferenciada, pois assume aspecto itinerante em outras cidades do estado e fortalece a relação entre o campo e a cidade. Nesse sentido, é a que contém a maior quantidade de participantes, totalizando 20 produtores/feirantes, com 15 presentes no dia da visita (75%), e, diferentemente das feiras anteriores, o maior percentual é de mulheres – 60% (nove mulheres).

Dessa maneira, foram entrevistados 42 produtores/feirantes de produtos orgânicos/agroecológicos das feiras, sendo o restante vendedores de produtos que não faziam parte do objetivo da pesquisa, como artesanato, moda etc. Deve-se mencionar um aspecto importante que é a baixa participação feminina nas quatro primeiras feiras visitadas, revelando o baixo protagonismo feminino no espaço da feira livre, fato não observável na feira do MST.

4.2 Análise de redes sociais de troca de informações dos produtores orgânicos e agroecológicos

A análise de rede social, a partir de uma observação de um grupo de atores, é uma das técnicas mais apropriadas para compreender, descrever e indicar múltiplos aspectos do funcionamento desse grupo com base em um determinado aspecto. Esta pesquisa corresponde à troca de informações sobre a produção e comercialização que ocorrem entre produtores/feirantes orgânicos e agroecológicos no município de Fortaleza, estado do Ceará, durante as visitas realizadas em 2023.

Ao analisar o primeiro indicador – densidade – no âmbito do que foi constatado nas feiras visitadas, deve-se ressaltar que esse indicador se revelou baixo entre os produtores da rede analisada (inferior a 30%), ou seja, existe baixa velocidade nas trocas de informações (Alejandro; Norman, 2005; Zhang, 2010). A baixa (ou pouca) circulação de informações sobre produção e comercialização é um fator limitante para os produtores, pois cria-se um ambiente que dificulta o acúmulo de conhecimento e, por conseguinte, de difícil replicação de ideias inovadoras e de ações cooperativas entre eles. Nesse cenário, os produtores do Parque Adahil Barreto conseguem aproveitar melhor o potencial de relações existentes

na rede de troca de informações sobre produção e comercialização de seus produtos (25,8%). Vale ressaltar que as principais trocas de informações de todas as feiras visitadas ocorrem, principalmente, nos próprios locais das feiras.

Os produtores do Mercado dos Pinhões, também, conseguem aproveitar 22% de seu potencial de relações, seguidos pelos produtores da Feira do MST. No entanto, esse resultado pode estar sendo influenciado pelo próprio tamanho da rede nesses locais, que ainda não ultrapassa mais do que 15 produtores. A feira que ocorre na Praça da Gentilândia, por sua vez, é a terceira maior em termos quantitativos e de visibilidade local, mas apenas consegue usufruir de 10,7% do potencial de interação (441 interações possíveis) entre os integrantes da rede de informações (Tabela 2).

Tabela 2 – Índice de densidade dos produtores das feiras de Fortaleza (2023)

Feira	Produtores	Instituições (Órgãos)	Potencial de relação	Indicador de densidade
Parque Adahil Barreto	12	8	400	25,80%
Praça da Gentilândia	12	11	441	10,7%
Rio Mar Kennedy	5	7	225	12,4%
Feira do Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST)	20	12	729	15,8%
Mercado dos Pinhões	4	5	81	22%

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os resultados descritivos mostram que a troca de informações – experiências positivas e negativas decorrentes de novos processos adotados de maneira individual – de produção e comercialização dos produtos orgânicos ou agroecológicos em Fortaleza ainda é baixa e incipiente, limitando-se a serem transmitidas apenas quando ocorrem as feiras naqueles locais. Contudo, para melhor visualizar e compreender a estrutura das redes sociais formadas a partir da troca de informações entre os produtores, optou-se por fazer avaliações separadas, o que permite identificar atores estratégicos com poder em cada uma das redes e, conseqüentemente, auxiliar as definições de políticas públicas para esse nicho de produtores do mercado existente em Fortaleza.

4.2.1 Parque Adahil Barreto

A rede social do Parque Adahil Barreto conta com a presença de 20 atores citados como mantenedores do fluxo de informações que transita nessa rede. Desses, 12 são produtores e oito instituições (públicas ou privadas) ou órgãos (governamentais ou não governamentais) (Figura 1). As instituições citadas pelos produtores como importantes na obtenção de informações sobre produção e comercialização dos produtos foram Fundação CEPEMA, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE), Banco do Nordeste (BNB) e Universidade de Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

Dentre os produtores entrevistados, alguns indicaram outros como importantes na troca de informações, e quanto maior for o quantitativo de indicações, maior deverá ser o papel central que eles desempenham na rede como, por exemplo, os produtores IVF e JPF. Ou seja, esses produtores possuem maior quantitativo de arestas direcionadas para si, mostrando que muitos produtores se conectam a eles (indicador de centralidade).

O Indicador de Centralidade de Intermediação – *Betweenness* – caracteriza-se como aquele que possibilita identificar o nó (ator) que detém poder de controle e de filtragem das informações na rede. O indicador mostra-se importante em situações em que um determinado ator pode ter poucos contatos diretos na própria rede, mas, mesmo assim, detém o papel de destaque nas intermediações das informações (Marteletto, 2001). Dessa maneira, podem-se destacar os atores que obtiveram maiores valores no indicador e que se caracterizam como atores-ponte para os demais adjacentes da rede, são eles IVF, JPF e RGS.

A Centralidade de Poder de *Bonacich* – ou também denominado de “*Beta Centrality*” – considera tanto as conexões diretas de um determinado nó (ator) da rede quanto as conexões indiretas por meio de vizinhos da rede (Bonacich, 1987). No geral, o objetivo do indicador é revelar a importância relativa desse nó diante das conexões existentes (diretas e indiretas). Ou seja, ele tem conexão direta com alguns produtores, influenciando-os, e relação indireta com produtores que têm relações diretas de influência com outros da rede. Nesse caso, podem-se indicar os produtores que têm influência na rede, que são ALAO, IVF, RGS e DMA.

Figura 1 – Network da feira do Parque Adahil Barreto (2023)

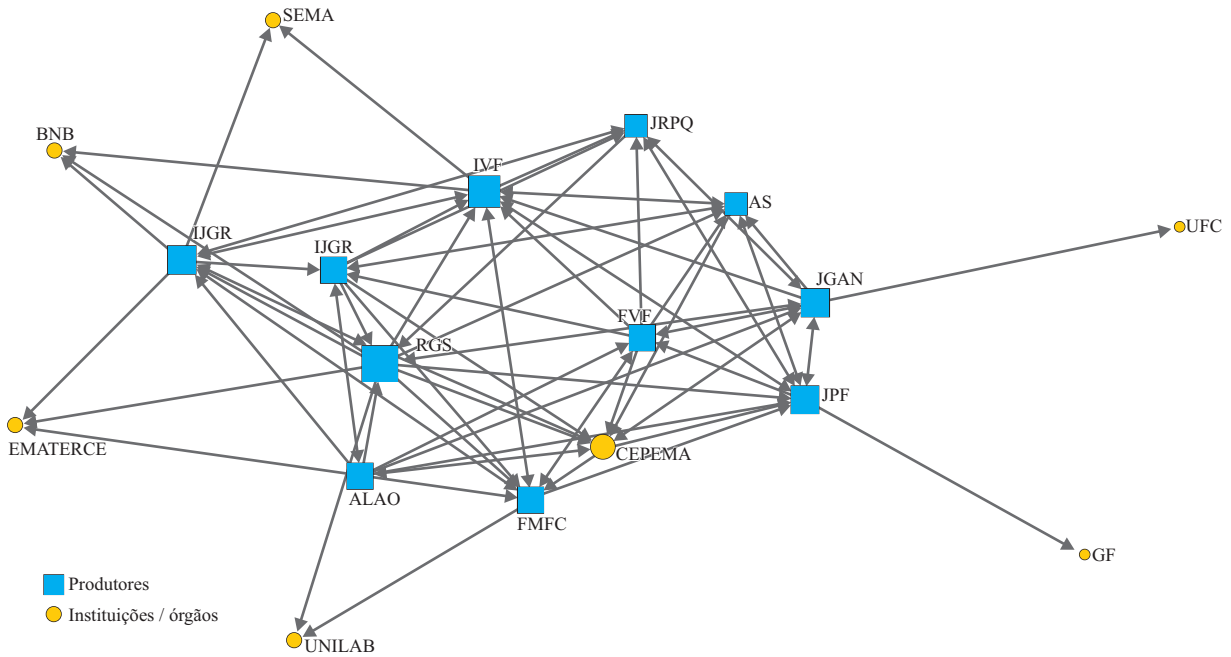


Figura 2 – Network da feira da Praça da Gentilândia (2023)

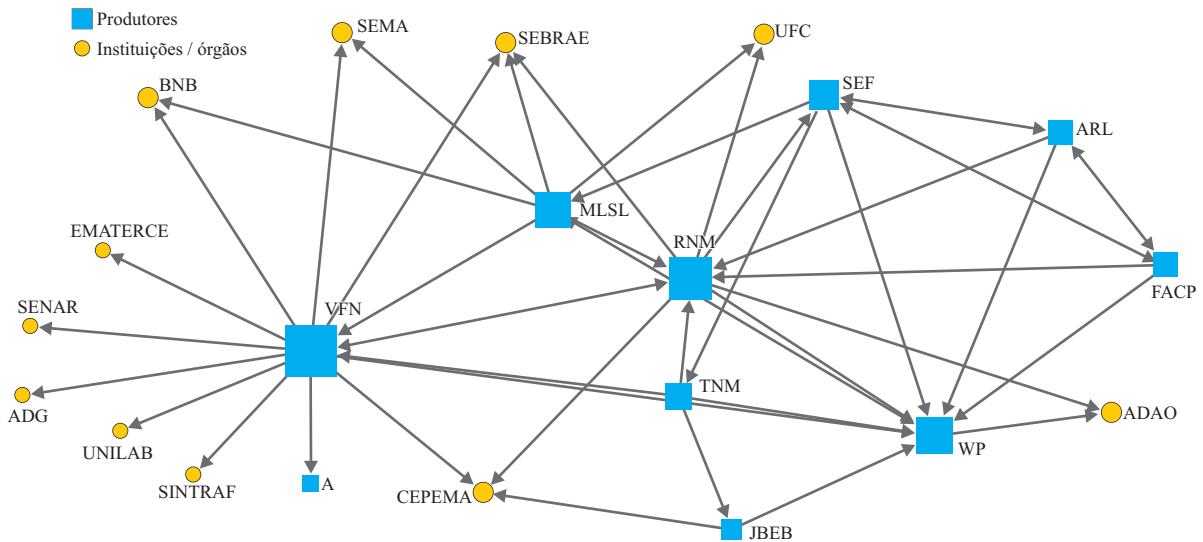


Figura 3 – Network da feira do Rio Mar Kennedy (2023)

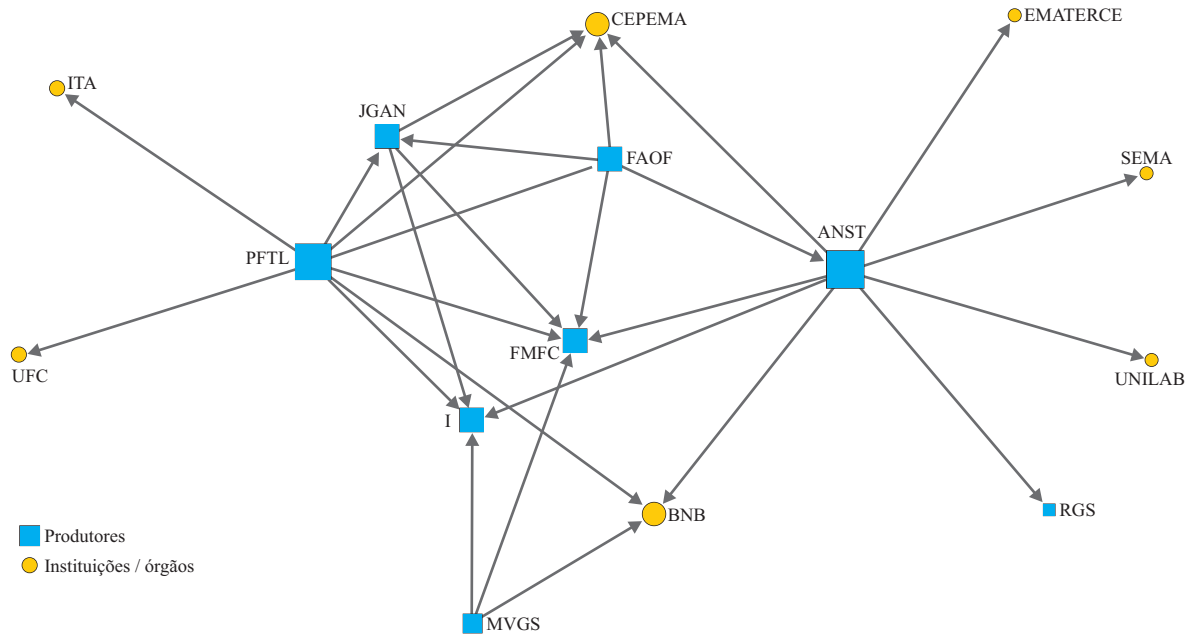
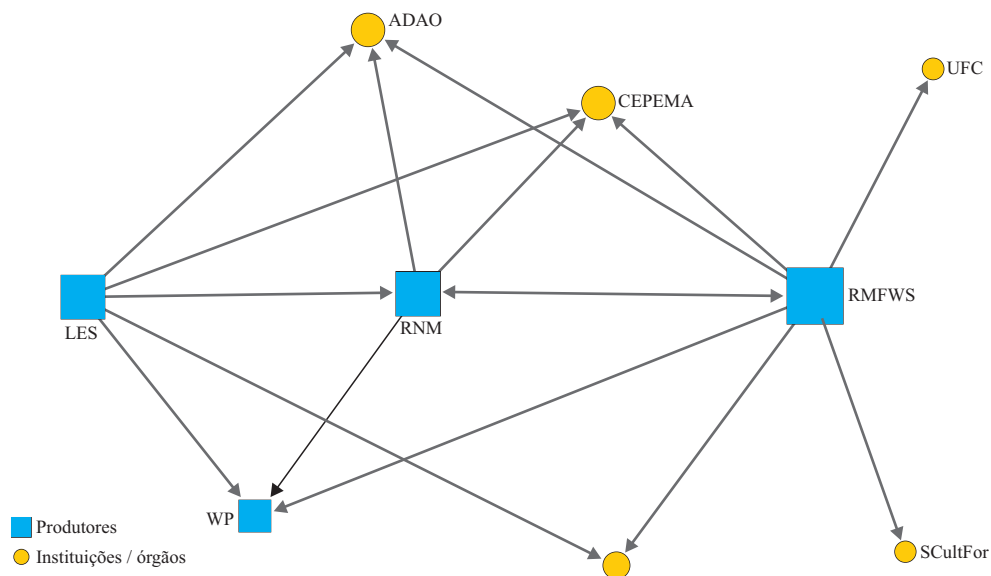


Figura 4 – Network da feira do Mercado dos Pinhões (2023)



Fonte: Resultado da pesquisa. Elaboração própria (2023).

4.2.2 Feira da Praça da Gentilândia

As entrevistas na Praça da Gentilândia – uma das mais feiras tradicionais de Fortaleza – permitiram elaborar uma rede social composta por 23 atores mantenedores desse fluxo de informações da rede. Desses, doze são produtores de produtos orgânicos e agroecológicos e 11 instituições ou órgãos, que foram ressaltados pelos feirantes como sendo atores de apoio (Figura 2). Das instituições mencionadas, as duas de destaque foram Fundação CEPEMA e Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), mas surgiram outras que não haviam sido citadas por produtores de outras feiras visitadas, são elas: Serviço de Aprendizagem Rural (SENAR), ADAO e o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Capistrano (SINTRAF).

Os produtores WP e RNM foram os entrevistados que surgiram com papel central como fonte de informação, sendo indicados por oito e cinco outros produtores do local, respectivamente. O produtor WP havia sido mencionado na feira do Mercado dos Pinhões como fonte de informação e, mais uma vez, foi citado por produtores na Gentilândia como ator importante. Contudo, notou-se que o produtor

não citou nenhum outro produtor, reforçando a ideia de que ele repassa informações, mas não interage com os demais feirantes das duas feiras em que atua. Das instituições que apresentam maior número de citações, podem-se mencionar: Fundação CEPEMA e SEBRAE. A Fundação CEPEMA foi citada como entidade que oferece serviços de divulgação técnica de agricultura ecológica, principalmente prestando assistência técnica. Por outro lado, o SEBRAE foi situado como instituição que realizou capacitações de produtores, porém, a ADAO e a Fundação CEPEMA cumprem, atualmente, esse papel.

Sete produtores/feirantes da Gentilândia indicaram quatro ou mais produtores, sendo os produtores VFN, RNM e MLSL os que mais indicaram outros atores da rede como fonte de informações. Isso aumenta o potencial de feedback dos atores. O Indicador de Centralidade de Intermediação evidenciou que alguns produtores assumem papel de ponte entre os demais adjacentes da rede. Ou seja, são aqueles que estão no caminho mais curto que liga os dois outros produtores, são eles: VFN, RNM e SAF. O indicador Centralidade de Poder de Bonacich mostrou os atores VFN e SAF como importantes na rede.

4.2.3 Feira do Rio Mar Kennedy

A rede social de troca de informações obtida na feira do Rio Mar Kennedy – organizada pela CEPEMA e pela Rede EcoCeará – é formada por 12 atores como mantenedores do fluxo de informações da rede. Desses, cinco são produtores de produtos orgânicos e agroecológicos e sete são instituições ou órgãos (Figura 3). Das instituições, a Fundação CEPEMA e BNB foram as duas mais citadas, mas aparecem outras em menor número de indicações (UNILAB, UFC, SEMA e o Instituto Terra Azul - ITA).

A participação das universidades se dá através de visitas técnicas às propriedades para serem estudadas como modelo de produção orgânica/agroecológica e através da realização de pesquisas. A Secretaria do Meio Ambiente e de Mudanças Climáticas (SEMA) figurou como instituição que apoia os produtores a organizar os seus produtos para serem enviados a Fortaleza. O ITA foi citado, por sua vez, por um produtor, como instituição não governamental que realiza assistência técnica e presta assessoria para a certificação, em substituição às funções da EMATERCE.

Dentre os produtores entrevistados na feira, os que apareceram desempenhando papel central na rede foram os produtores FMFC e I, revelando que esses foram os que registraram o maior quantitativo de arestas direcionadas para si, ou seja, muitos produtores se conectam a eles. Das instituições, por sua vez, podem-se citar aquelas que tiveram maior número de menções, a saber: Fundação CEPEMA e BNB. O BB foi citado como instituição financeira que oportuniza crédito aos produtores, assim como o BNB, enquanto a EMATERCE foi citada como instituição que prestava assessoria técnica, mas foi ressaltado que tal serviço foi suspenso, e a Fundação CEPEMA é a responsável por oferecer assistência aos produtores na transição da produção convencional para a produção orgânica, além de apoiar a certificação dos produtores.

Além disso, produtores/feirantes que receberam o maior número de indicações não realizaram indicações de outros produtores ou instituições, indicando que na rede há presença de produtores que não estão enviando informações aos demais. Isto é, concentram informações e reduzem o potencial de *feedback* dos atores. Pelo Indicador de Centralidade de Intermediação, podem-se evidenciar os atores que apareceram como atores-ponte para os demais adjacentes da rede, são eles: ANST e FAOF.

O indicador de Centralidade de Poder de *Bonacich* revelou a importância relativa dos produtores ANST e PETL. Esse último, vale ser ressaltado, apesar de seu poder de transmissão de informação, não foi citado por nenhum outro produtor da rede, mas chegou a indicar outros oito atores como fonte de informação. Portanto, são dois atores que exibiram conexões, revelando proximidade e influência na rede.

4.2.4 Feira do Mercado dos Pinhões

As entrevistas realizadas no Mercado dos Pinhões permitiram identificar uma network de troca de informações formada por nove atores (nós) mantenedores do fluxo da rede. Desses, quatro são produtores de orgânicos e agroecológicos, e cinco instituições ou órgãos aparecem citados pelos entrevistados (Figura 4). Entre as instituições, nota-se, mais uma vez, a presença da Fundação CEPEMA, a atuação da Associação para o Desenvolvimento da Agropecuária Orgânica (ADAO) e a Comissão da Produção Or-

gânica no Estado do Ceará (CPORG), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Entretanto, outras instituições aparecem em menor número de indicações (UFC e Secretaria Municipal da Cultura de Fortaleza - SECULTFOR).

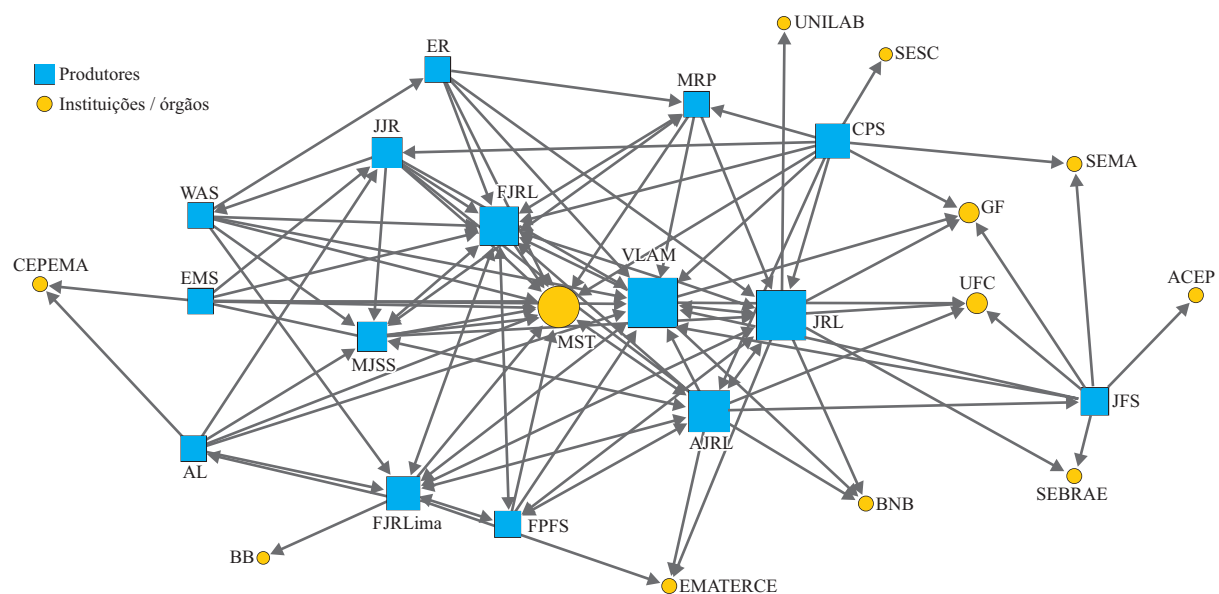
O produtor entrevistado na feira que surgiu desempenhando papel central na rede foi o WP, sendo indicado por três outros produtores do local. Das instituições que tiveram maior número de citações, podem-se mencionar: Fundação CEPEMA (3) e ADAO (3). A Fundação CEPEMA, como pode ser observado, é a principal entidade, pois presta assessoria e cooperação aos produtores de orgânicos/agroecológicos. A ADAO é uma associação que reúne produtores de diversos municípios do interior do Ceará a fim de organizar a produção, especialmente para a preparação da certificação. Logo, notou-se que a ADAO é a organizadora da feira, e a SECULTFOR disponibiliza o espaço para os feirantes exporem os seus produtos.

Em relação ao indicador Outdegree, é possível apontar que o produtor WP foi citado como fonte de informação. Contudo, ele não citou nenhum outro produtor da rede, indicando que não busca informações de outros produtores da feira. Isso evidencia a ocorrência de concentração de informações neste produtor face aos demais, e isso reduz o potencial de feedback dos atores. O Indicador de Centralidade de Intermediação, por sua vez, evidenciou os atores RMFWS e RNM como os que aparecem na qualidade de atores-ponte para os demais adjacentes da rede. Ou seja, são atores que estão no caminho mais curto entre os dois outros produtores. Não obstante, a Centralidade de Poder de Bonacich revelou os atores RMFWS e LES com importância relativa na rede. Esse último produtor, apesar de seu poder de transmissão de informação, não foi citado por nenhum outro produtor da rede, mas chegou a indicar outros cinco atores como fonte de informação, fato similar ao que aconteceu no Rio Mar Kennedy.

4.2.5 Feira do Movimento dos Trabalhadores Rurais sem Terra (MST) (Centro de Formação e Capacitação Frei Humberto)

A última entrevista foi realizada na feira do MST em Fortaleza, cujo resultado consolidado permitiu elaborar uma network composta pelo maior quantitativo de atores de todas as feiras visitadas, totalizando 34 mantenedores do fluxo de informações da rede. Desses, 20 são produtores de produtos orgânicos e agroecológicos e 12 instituições ou órgãos, que foram citados pelos feirantes (Figura 5). Das instituições mencionadas, as três de destaque foram MST, EMATERCE e BNB. Entretanto, outras que não haviam sido citadas surgiram nessa rede, a saber: Serviço Social do Comércio (SESC), Associação de Certificação Participativa (ACEP) e Governo Federal (GF).

Figura 5 – Rede social dos produtores de produtos orgânicos/agroecológicos na feira do MST (2023)



Fonte: Resultado da pesquisa. Elaboração própria (2023).

A rede social da Feira do MST indicou aqueles produtores que desempenham papel central no con-

junto de atores do local, são eles: VLAM, AJRL, FJRL, JRL, FJRLima e MJSS. Esses produtores foram indicados por outros seis ou mais produtores, que afirmaram sobre o fornecimento de trocas de informações sobre a produção e comercialização. Dentre as instituições que contam com maior número de citações, podem-se mencionar: o próprio MST (15), UFC (4) e GF (4).

O MST foi citado como o ator que organiza e congrega os produtores, principalmente na intermediação da regularização fundiária e segurança alimentar, enquanto a UFC foi citada porque já fez pesquisas em algumas propriedades e no Assentamento Antônio Conselheiro, localizado no município de Ocara. O GF foi citado como instituição que colabora com os entrevistados por meio do pagamento do Bolsa Família, mas essa informação não foi lembrada em um primeiro momento, por vezes era referenciada já no final das entrevistas.

Por outro lado, notou-se que os produtores JRL, CPS, AJRL, FJRL e FJRLima foram os que mais indicaram outros atores da rede como fonte de informações, elevando o potencial de feedback dos atores. O Indicador de Centralidade de Intermediação evidenciou que alguns produtores – os quais assumem o papel de ponte entre os demais – são importantes no processo de transferência de informações: VLM, JRL, FJRL e AL. O Indicador Centralidade de Poder de Bonacich mostrou que nessa rede existe um maior número de produtores com importante poder de transmissão de informações, quais sejam: JRL, JFS, WAS e AL.

4.3 Algumas discussões dos resultados empíricos

A opção por expor os produtos oriundos das propriedades rurais em feiras no município de Fortaleza mostra uma estratégia de estímulo e apoio à produção orgânica/agroecológica no Ceará, eliminando a ação de atravessadores, o que aumenta a possibilidade de maior relação com outros produtores locais (Lage; De Assis; Aquino, 2020). As decisões dos produtores/feirantes evidenciam, portanto, o nível de consciência que possuem sobre os benefícios de ofertar diretamente os seus produtos ao consumidor, assim como já havia sido pontuado por Gusson (2006) e Santos (2010).

Repensar essas estratégias dentro de futuras políticas públicas exige conhecer os atores influentes nas redes, que têm mais facilidade de repassar informações para todos da rede. Ou seja, os resultados obtidos por este estudo conseguem indicar os atores-chave das redes, pois eles reduzem caminhos nesse processo de troca de informações importantes quando se pretende divulgar linhas de financiamentos ou cursos ofertados para melhorar a gestão dos negócios rurais. Assim, em cada network, foi possível compreender as relações sociais colaborativas existentes entre os atores dos grupos de produtores/feirantes dentro de um ambiente de desenvolvimento rural da agricultura orgânica e agroecológica, o que auxilia na troca e circulação de informações, ideias, conhecimentos e aprendizados novos (Navarro, 2001; Paula et al., 2017; Filippini et al., 2020).

Apesar disso, quando se trabalha com políticas públicas, não basta apenas identificar os principais atores da rede que reduzem caminhos de transmissão de informações, há a necessidade de se conhecer outros elementos específicos dos produtores que atuam nas redes, principalmente dentro de um contexto estadual que detém características tão diferenciadas.

A partir da caracterização da rede nas cinco feiras que ocorrem no município de Fortaleza, foi possível notar a complexidade das relações existentes nas trocas de informações entre os produtores – pequenos e grandes – que foram encontrados em cada uma das feiras orgânicas e agroecológicas, o que já era esperado pelo que a literatura expõe, conforme citado por Raworth (2019).

Os resultados obtidos em todas as feiras evidenciam, ainda, que as redes são recentes e, por esse motivo, alguns produtores mantêm interação forte e positiva com outros, mas, ao mesmo tempo, interagem de forma mais fraca (negativamente) com outros produtores. Muitas vezes, eles indicam produtores locais como fonte de informação sobre aspectos referentes aos produtos orgânicos e agroecológicos vendidos na feira. Entretanto, não são indicados pelos colegas, o que pode evidenciar problemas em potencializar o feedback entre os produtores e, consequentemente, demora na troca de informações.

É possível constatar e confirmar, neste estudo, as limitações inerentes à própria análise de redes so-

ciais, assim como colocado por Bottoni (2016), pois há dificuldades de definição dos limites da rede por parte dos produtores entrevistados. Muitos, no primeiro momento do questionamento, não citavam ninguém ou citavam outras pessoas que moravam em outros municípios ou estados do Brasil, somente após a repetição das perguntas é que eles conseguiram citar produtores da própria feira que participavam.

Em algumas das feiras, os produtores se encontram uma vez a cada 30 dias, o que dificulta a criação de laços mais fortes entre os integrantes da rede. Outro fator que pode desfavorecer a interação entre os produtores é que muitos deles são de municípios diferentes. Todavia, é perceptível o potencial verificado na cidade de Fortaleza para comercialização de produtos orgânicos e agroecológicos, apesar da baixa representatividade das feiras na capital cearense.

As feiras, por um lado, evidenciaram a questão da proximidade do produtor com o consumidor, em que o produto chega com maior qualidade. Por outro lado, revelam novas oportunidades de trabalho e geração de renda para seus integrantes, que precisam enfrentar desafios relacionados ao próprio mercado consumidor. Ou seja, há a necessidade de que ocorra maior popularização dessas feiras e maior divulgação e conscientização dos consumidores com relação aos benefícios de consumir esse tipo de produto, que são alimentos saudáveis, porque são livres de agrotóxicos e produzidos ecologicamente (IFOAM, 2018; Santo; Oliveira; Bernardes, 2018; Silva; Polli, 2020).

Na percepção dos produtores, ocorre baixo apoio institucional dos entes federais, estaduais e municipais. No entanto, os produtores indicaram haver outras instituições que esporadicamente oferecem algum tipo de suporte à produção e comercialização nos espaços em que ocorrem as feiras. Nesse cenário, as redes sociais das feiras locais – apesar da baixa circulação de informações e do baixo engajamento – recebem apoio de instituições importantes, que devem ser atraídas para auxiliar na promoção e implementação de políticas públicas, que tenham objetivo de criar estratégias de produção e comercialização para a valorização da vocação desses produtores locais cearenses (Lage et al., 2020; Barancelli et al., 2020). Por esse motivo, deve-se promover maior articulação entre os produtores e demais instituições de apoio para potencializar as estratégias de produção, colheita, beneficiamento e comercialização, sem perdas de informações. Considerações similares estão nos resultados de Braga (2022), quando o autor estudou a questão do café ecológico da região do Maciço de Baturité no Ceará.

Eles mostram ciência de que a produção de orgânicos é uma tendência mundial, mas que, no Brasil e, em especial, no Ceará, é um assunto não incentivado, fato que reduziu o quantitativo de produtores de produtos orgânicos nos últimos anos, assim como pontuado por Parra Filho et al. (2018) e Santos et al. (2014). Esses elementos mostram, conseqüentemente, obstáculos a serem contornados pelos produtores/feirantes, pois evidenciam baixa infraestrutura institucional de apoio – assistência técnica e de acesso à crédito – à produção e comercialização dos produtos orgânicos e agroecológicos, resultado similar ao observado por Lima (2018) em seu estudo com agricultores familiares em um assentamento em Pernambuco.

Além disso, foi possível encontrar, também, atores na rede que dão suporte técnico e apoio institucional, e são atores que foram nitidamente lembrados nas entrevistas, são eles: Fundação CEPEMA (organização das feiras e apoio no processo de certificação); EMATERCE (assistência técnica e extensão rural, lembrando que foi relatado que há muito tempo a empresa não faz trabalhos junto aos produtores); BNB (através da oferta de microcrédito); SESC (comprando produtos orgânicos para abastecer seus programas de segurança alimentar e nutricional); e SEBRAE (realizando cursos e apoio na regularização dos negócios, especialmente os MEIs; este ator foi citado, porém, por poucos entrevistados, e ficou claro que há muitos anos o serviço não é prestado).

Um elemento – ou ator – importante que apareceu de maneira tangencial na rede, mas que é de fundamental importância nesse ambiente, foi a atuação de instituições de ensino e pesquisa (Instituições de Ensino Superior - IES). Alguns produtores citaram, então, as relações de cooperação de troca de informações mantidas com a UNILAB, localizada na região do Maciço de Baturité, e a própria UFC. Essa característica da rede é de fundamental importância, pois à medida que ocorrem ações de cooperação, mesmo ainda incipiente, eleva-se o potencial de inserção de inovações e tecnologias produzidas por

essas instituições de ciência e pesquisa, e que podem ser levadas para dentro dos processos produtivos da agricultura orgânica (Paula et al., 2017).

Dessa maneira, quando ocorre a troca de informações ou de recursos entre os atores da rede e as IES, tem-se um quadro de geração de conhecimento e aprendizado e, conseqüentemente, possibilidades inovativas (Navarro, 2001; Bottoni, 2016). Na rede social em ambientes rurais, essa troca de informações, ideias e conhecimento tornam-se caminhos mais curtos para disseminação de novas ideias e aprendizados, assim como pontuado por Paula et al. (2017).

O caso da feira do MST merece um destaque adicional, devido à importância que o movimento tem na organização e no apoio aos produtores rurais, principalmente em relação àqueles que pertencem ao Assentamento Antônio Conselheiro – localizado entre os municípios de Ocara e Aracoiaba –, os quais têm vinculação direta com a marcha do campesinato brasileiro (Sousa, 2018). Os produtores, em parceria com o MST, vêm possibilitando maior dinamismo interno e geração de renda para os produtores rurais dos assentamentos, o que proporciona janelas de oportunidades para a promoção do desenvolvimento econômico rural da comunidade envolvida na produção de orgânicos e agroecológicos no Ceará.

Os resultados empíricos e teóricos mostraram que as redes das feiras fortalezenses surgem como mecanismo central de facilitação da comercialização da produção orgânica e agroecológica de agricultores familiares do estado do Ceará, o que pode potencializar os laços de confiança entre os atores que formam a rede. Com o estreitamento dessas relações de confiança, os produtores que comercializam nas feiras podem desenvolver estratégias cooperativas, de modo a ampliar a participação no mercado e promover outras feiras locais (Contreras, 2019; Lage et al., 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa foi alcançado ao analisar a rede social dos produtores orgânicos/agroecológicos nas feiras de Fortaleza em 2023, confirmando que a integração/relação de informações e cooperação entre os atores da rede formada nas feiras não se reflete, ainda, em alto nível de engajamento para o desenvolvimento de parcerias entre eles, pois a rede apresenta baixa circulação de informações e pouca interação dos atores da rede.

Os resultados das redes individuais indicam que os produtores conseguem enviar informações, mas, em sua maioria, não recebem dos demais atores, o que prejudica a potencialização do *feedback*. Esse fato pode ter sido influenciado pela baixa frequência de encontros que ocorrem nas feiras e a localização de suas propriedades, que são em diferentes localidades. O acesso às informações referentes aos novos processos de produção e comercialização adotados por produtores individuais é crucial para formar um ambiente dinâmico e de aprendizagem, que deve ser compartilhado em todas as redes das feiras para potencializar a reprodução das informações por outros produtores, para que consigam obter benefícios em termos de produtividade e qualidade.

O mercado fortalezense de comercialização de produtos orgânicos e agroecológicos é bastante limitado, refletindo na baixa circulação das informações entre as redes. Esse cenário – de baixa interação – indica a necessidade dos produtores pelos serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER) para melhorar, dentre outros aspectos, a renda e a qualidade de vida. A metodologia deste estudo mostrou-se relevante enquanto ferramenta auxiliar no acompanhamento da capacidade de articulação da rede social, não apenas desse conjunto de atores produtores, mas, também, de outros grupos de produtores, o que permitiu identificar atores importantes que possuem influência na transmissão de informações sobre experiências positivas e negativas adotadas por agricultores individuais.

A contribuição que este trabalho apresenta é a possibilidade de efetivação de políticas públicas voltadas aos produtores/feirantes das feiras de Fortaleza, através do auxílio na identificação de atores para serem inseridos dentro do processo de elaboração e implementação das políticas públicas. Esses atores-chave conseguem transferir informações para todos aqueles que fazem parte do processo produtivo, o que os tornam importantes dentro das políticas públicas. Outro ponto é a necessidade de uma

atuação mais próxima de entidades como universidades, SEBRAE, BNB, EMATERCE, entre outros. Percebeu-se, ainda, a necessidade de maior divulgação das feiras para gerar poder de atração maior do público-alvo, consumidores que buscam alimentos saudáveis, de qualidade e sem agrotóxico.

As sugestões para estudos futuros repousam na possibilidade de analisar o nível de gerenciamento empresarial desses atores, pois muitos ressaltaram a carência de informações e treinamentos na área administrativa e comercial. Em seguida, recomendam-se estudos sobre os processos de manejo da produção e da infraestrutura que esses produtores detêm, com objetivo de apoiá-los em seus processos de certificação.

REFERÊNCIAS

ALEJANDRO, V. Á. O.; NORMAN, A. G. **Manual introdutório à Análise de Redes Sociais**. Tradução e adaptação de: AIRES, M. L. L.; LARANJEIRO, J. B.; SILVA, S. C. de A. 2006. Disponível em: <http://www.aprende.com.pt/fotos/editor2/Manual%20ARS%20%5BTrad%5D.pdf> Acesso em: 10 fev. 2023.

ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista NERA**, v. 16, p. 22-32, 2012. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i16.1362>.

ARRAIS, S. C. S.; NOBRE, J. N. P.; CAMBRAIA, R. P.; PRAT, B. V. Gerenciamento de unidades produtoras familiares e estratégias adotadas para potencialização da renda do campo. **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 53, n. 3, p. 8-20, 2022. <https://doi.org/10.61673/ren.2022.1320>.

ASSIS, R. L. Agricultura orgânica e agroecologia: questões conceituais e processo de conversão. Seropédica/RJ: **Embrapa Agrobiologia**, 35 p, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/628360>. Acesso em: 23 jul. 2023.

BALESTRIN, A.; VERSCHOORE, J. R.; REYES JUNIOR, E. O campo de estudo sobre redes de cooperação interorganizacional no Brasil. **Revista Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 14, n. 3, p. 458-477, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552010000300005>.

BARANCELLI, M. D. C.; GODOY, W. I.; PERONDI, M. A.; KIYOTA, N. Estratégias de produção e comercialização a partir da percepção do agricultor sobre o consumidor nas feiras de alimentos orgânicos no município de Pato Branco – Paraná. **Retratos De Assentamentos**, v. 23, n. 2, p. 39-64, 2020. <https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2020.v23i2.432>.

BONACICH, P. Power and Centrality: A Family of Measures Power and Centrality: A Family of Measures. **The American Journal of Sociology**, [s.l.], v. 92, n. 5, p. 1170-1182, 1987.

BOTTONI, J. **Análise de redes sociais no arranjo produtivo leiteiro do Vale do Taquari- RS: reflexões da comunicação e cooperação entre atores sobre a qualidade do leite**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016.

BRAGA, F. L. P. B. **Capital social e desenvolvimento local na perspectiva de redes sociais de produtores de café sombreado no Maciço de Baturité, Ceará**. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará, 143 f, 2022.

BRASIL. Lei 10.831/2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.

htm. Acesso em: 24 out. 2022.

CALDAS, N. V.; ANJOS, F. S. dos; BEZERRA, A. J. A.; AGUILAR, E. Certificação de Produtos Orgânicos: obstáculos à implantação de um sistema participativo de garantia na Andaluzia, Espanha. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 50, n. 3, p. 455-472, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032012000300004>.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e extensão rural**: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável. Brasília: MDA/SAF/DATER, 2007

CAPRA, F. **As conexões ocultas**: ciência para uma vida sustentável. São Paulo: Cultix, 2002.

CONTRERAS, C. A. C. Ferias agroecológicas en las universidades federales: alternativas, límites y posibilidades. **International Journal of Interdisciplinary Studies**, v. 1, n. 1, p. 56-64, 2019. <https://doi.org/10.29327/228822.1.1-5>.

FEIDEN, A. Agroecologia: introdução e conceitos. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. (Ed.). **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.

FERREIRA A. S.; COELHO, A. B. O Papel dos preços e do dispêndio no consumo de alimentos orgânicos e convencionais no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 55, n. 4, p. 625-640, 2017. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550401>.

FILIPPINI, R., MARESCOTTI, M. E., DEMARTINI, E., GAVIGLIO, A. Social Networks as Drivers for Technology Adoption: A Study from a Rural Mountain Area in Italy. **Sustainability**, 2020, 12, 9392. <https://doi.org/10.3390/su12229392>.

FINNATO, R. A. Redes de agroecologia e produção orgânica na Região Sul do Brasil. **Revista Espaço Geográfico em Análise (R. Ra'e Ga)**, Curitiba, v. 38, p. 107-145, 2016. <https://doi.org/10.5380/raega.v38i0.42242>.

FONSECA, M. F. de A. C. **Agricultura orgânica: regulamentos técnicos para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil**. Niterói: PESAGRO-RIO, 2009.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2 ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GUSSON, M. A importância estratégica das feiras agroecológicas para o resgate e preservação da biodiversidade na agricultura familiar do Alto Uruguai (RS). In: LOVATO, P. E.; SCHIMIDT, W. (Orgs). **Agroecologia e sustentabilidade no meio rural**. Chapecó: Argos, 2006.

HANNEMAN, R. A.; RIDDLE, M. **Introduction to social network methods**. Riverside, CA: University of California, Riverside, 2005. Publicado em formato digital. Disponível em: <http://www.faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>. Acesso em: 15 out. 2009.

HAYTHORNTHWAITE, C. Social network analysis: an approach and technique for the study of information exchange. **Library & Information Science Research**, Norwood, v. 18, n. 3, p. 323-342, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0740-8188\(96\)90003-1](https://doi.org/10.1016/S0740-8188(96)90003-1).

IFOAM - INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS. **Consolidated Annual Report of IFOAM-Organics International**. Bonn, DE: IFOAM, 2018. 21 p. Disponível em: <https://www.ifoam.bio/about-us/annual-reports>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LAGE, M. F. R.; DE ASSIS, R. L.; AQUINO, A. M. de. Diagnóstico das feiras de produtos e seus consumidores em Belo Horizonte. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26519>.

LAZEGA, E.; HIGGINS, S. S. **Redes sociais e estruturais relacionais**. Belo Horizonte, Minas Gerais: Editora FinoTraço, 2014.

LEMIEUX, V.; OUIMET, M. **Análise das estruturas das redes sociais**. 2. ed. Instituto PIAGET, 2012.

LIMA, F. A. X. Assentamento rural agroecológico: um caminho possível para a reprodução socioeconômica da agricultura familiar. **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 49, n. 3, p. 51-66, 2018. <https://doi.org/10.61673/ren.2018.713>.

LIMA, S. K.; GALIZA, M.; VALADARES, A.; ALVES, F. **Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília; Rio de Janeiro: Ipea, 1990- ISSN 1415-4765, 2023.

MACHADO, D. Q. **Esforços de inovação em redes sociais: uma análise na Rede Nordeste de Biotecnologia**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Estadual do Ceará, 2012.

MARTELETO, R. M. Análise de redes sociais: aplicação nos estudos de transferência da informação. **Ciência da Informação**, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 71-81, 2001.

MATTEI, T. F.; MICHELLON, E. Panorama da agricultura orgânica e dos agrotóxicos no Brasil: uma análise a partir dos censos 2006 e 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 4, e222254, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.222254>.

MENÉNDEZ, L. S. Análisis de redes sociales: o como representar las estructuras sociales subyacentes. **Apuntes de Ciencia y Tecnología**, n. 7, p. 21-29, 2003.

MIOLLO, J. R. **Agroecologia ou agricultura orgânica: Reflexões a partir dos processos de certificação na agricultura familiar**. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

MONASTERIO, L. Conexões comerciais entre estados brasileiros: uma aplicação de análise de redes sociais. **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 60-71, 2017. <https://doi.org/10.61673/ren.2005.718>.

MOOLENAAR, N. M.; SLEEGERS, P. J. C. Social Network, trust, and Innovation. Howm Social Relationships Support Trust anda Innovative Climates in Dutch Schools. **Social Network theory and Educational Change**, [s.l.], p. 97-115, 2010.

NAVARRO, Z. Desenvolvimento rural no Brasil: os limites do passado e os caminhos do futuro. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p. 83-100, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142001000300009>.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. Social network analysis: a powerful strategy also for the information sciences. **Journal of Information Science**, v. 28, n. 6, p. 441-453, 2002. <https://doi.org/10.1177/016555150202800601>.

PARRA FILHO, A. C.; NORDER, L. A. C.; JOVCHELEVICH, P.; KINJO, S. A Convencionalização na produção de sementes na agricultura orgânica brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 4, 2019. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560402>.

PAULA, N. Q.; BISCOLA, P. H. N.; FIGUEIREDO, J. D. C.; BUNGENSTAB, D. J.; GUILHERMINO, J. Network and innovation at the brazilian agricultural research corporation. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 192-203, 2017. <https://doi.org/10.21714/2238-68902017v-19n3p192>.

RAWORTH, K. **Economia Donut: uma alternativa ao crescimento a qualquer custo**. Rio de Janeiro: Zahar, 2019.

SANTOS, M. M.; OLIVEIRA, T. L. M.; BERNARDES, M. B. J. Uma breve análise da feira agroecológica do Parque do Sabiá em Uberlândia - MG. **Revista de Educação Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 382-397, 2018.

SANTOS, T. A. **Agroecologia como prática social: feiras agroecológicas e insubordinação camponesa na Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de São Paulo: FFLCH-USP, 2010.

SILVA, D. A.; POLLI, H. Q. A importância da agricultura orgânica para a saúde e o meio ambiente. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 505-516, 2020.

SOUSA, A. S. H. **Assentamento Antônio Conselheiro/Ce: um olhar sobre suas relações socioespaciais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará, 2018.

TOMAÉL, M. I.; ALCARÁ, A. R.; DI CHIARA, I. G. Das redes sociais à inovação. **Ciência da Informação**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 93-104, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-19652005000200010>.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.

ZHANG, M. Social network analysis: history, concepts, and research. In: FURTH, B. (ed.). **Handbook of social network: Technologies and applications**. New York: Springer, 2010. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7142-5_1.

DINÂMICA DAS EMISSÕES MUNICIPAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO PARÁ (2000 A 2019)

Municipal Greenhouse Gas Emissions dynamics in Pará, Brazil (2000–2019)

Fernando Nogueira

Economista. Mestre em Desenvolvimento Econômico pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia. Avenida João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
nogueirapa2007@hotmail.com

Daniel Caixeta Andrade

Economista. Doutor em Desenvolvimento Econômico. Professor da Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Economia e Relações Internacionais. Avenida João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
daniel.andrade@ufu.br

Resumo: Este artigo investiga a dinâmica das emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos municípios do estado do Pará entre 2000 e 2019 com ênfase na relação entre o desmatamento e os arranjos institucionais de governança. A pesquisa adota abordagem descritiva, utilizando dados do SEEG, MapBiomass e Fapespa organizados por Regiões de Integração (RIs). Os resultados revelam elevada concentração de emissões de GEE nas RIs Araguaia, Tapajós e Xingú, por conta do processo de expansão agropecuária. Embora políticas de comando e controle tenham reduzido as emissões entre 2004 e 2012, o período posterior apresentou reversão da tendência. A análise institucional indica que, mesmo em contextos locais com maior capacidade de gestão, a descoordenação entre níveis de governo compromete a eficácia das políticas ambientais. O artigo adota o marco teórico da governança policêntrica, proposto por Elinor Ostrom, para discutir os limites e as potencialidades de arranjos descentralizados. Conclui-se que o enfrentamento do desmatamento exige maior articulação federativa e fortalecimento institucional dos municípios amazônicos.

Palavras-chave: emissões municipais de GEE, desmatamento, governança policêntrica.

Abstract: This article analyzes the dynamics of Greenhouse Gas (GHG) emissions evolution in each integration region (RI) of the state of Pará from 2000 a 2019. It highlights the intimate relationship between deforestation and emissions mitigation in the Legal Amazon and in the state of Pará. The results show a concentration of GHG emissions located in regions where agricultural and livestock frontiers are expanding. Over the analyzed period, the municipalities with the highest emissions in the state of Pará have a history of deforestation concentrated in regions that have maintained their economic activities linked to agriculture and livestock. Finally, the article also offers some reflections on environmental governance and the importance of a polycentric view, drawing attention to the fact that, even in municipalities with better environmental institutionalization, the lack of coordination among various levels of government greatly limits the potential for municipalities to combat deforestation.

Keywords: municipal GHG emissions, deforestation, polycentric governance.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um fato real e emergente que se manifesta no desequilíbrio do clima em todo o planeta. Já há um consenso científico sobre as causas antrópicas desse fenômeno, a saber, a queima de combustíveis fósseis pela humanidade, o que vem gerando emissões de gases de efeito estufa (GEE). As emissões de GEE são fruto de atividades econômicas que se intensificaram a partir da Revolução Industrial em meados dos anos 1870, e seu acúmulo, de forma muito superior ao que o ecossistema pode absorver, tem provocado o aquecimento da temperatura do planeta. No Brasil, são esperados impactos regionais diferenciados, com possíveis resultados negativos sobre desmatamento e segurança alimentar nas regiões Norte e Nordeste (Tanure *et al.*, 2024).

O tema das mudanças climáticas se relaciona diretamente com o debate sobre desenvolvimento econômico e sustentável da Amazônia. Isso porque, de um lado, a floresta funciona como um grande regulador climático ao oferecer serviços ecossistêmicos de sequestro e armazenamento de carbono. De outro, as mudanças climáticas podem acelerar o processo de degradação da floresta, prologando períodos secos e aumentando a quantidade de queimadas, o que exacerbaria sobremaneira a probabilidade de a floresta ultrapassar seu ponto de não retorno, o que detonaria um processo de savanização da floresta.

Como se sabe, enquanto espaço econômico, o uso da Amazônia se deu por meio da apropriação da terra para a produção de *commodities*. O processo de ocupação se deu motivado por ciclos econômicos, estabelecidos pelos planos nacionais, que em última instância definiram a lógica de como o território deveria se organizar economicamente para atender às necessidades do mercado internacional. Os planos nacionais de integração (I e II PND 1972-1979) consolidaram na Amazônia a produção de soja, a criação de gado e a mineração. Essas atividades passaram a fazer parte do cenário amazônico, sobrepondo-se a qualquer tentativa de promover crescimento econômico por meio de uma perspectiva endógena, colocando o território amazônico sobre forte exploração do capital.

Diante da intrínseca relação entre mudanças climáticas e Amazônia, é importante destacar o protagonismo do estado do Pará enquanto maior contribuinte para o desmatamento da Amazônia Legal e, por conseguinte, uma das unidades da federação que mais emitem GEE. É nesse sentido que o problema de pesquisa é: quais fatores estruturais explicam a persistência das elevadas emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos municípios do estado do Pará entre 2000 e 2020, e de que maneira a fragmentação institucional e a ausência de coordenação entre os diferentes níveis de governo comprometem a eficácia das políticas de combate ao desmatamento? Utilizou-se o marco teórico da governança policêntrica para explicitar a complexidade existente e as dificuldades de coordenação para implementação de políticas ambientais eficazes.

Além desta introdução e considerações finais, o artigo contém mais três seções. A próxima descreve sucintamente os procedimentos metodológicos e os dados utilizados. Em seguida, é apresentada a dinâmica das emissões de GEE no Pará e nos seus municípios agrupados por Regiões de Integração (RIs). Por fim, são discutidos aspectos de governança e as dificuldades de coordenação e articulação da gestão ambiental no estado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada consiste na reunião de dados secundários estaduais e municipais de emissões de GEE, fornecidos pelo Sistema de Estimativas e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023)¹, do Observatório do Clima (OC), sob forma de uma pesquisa descritiva. Os dados, expressos em dióxido de carbono equivalente (CO₂e)², foram manipulados de forma a contemplar as Regiões de In-

1 O SEEG considera todos os GEE contidos no inventário nacional, como CO₂, CH₄, N₂O e os HFCs, e os dados são apresentados em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), tanto na métrica GWP (potencial de aquecimento global) como GTP (potencial de mudança de temperatura global), e segundo os fatores de conversão estabelecidos no 2º, 4º e 5º relatórios do IPCC (AR2, AR4 e AR5) em toneladas (t) de CO₂e.

2 O dióxido de carbono equivalente (CO₂e) é utilizado para expressar a quantidade de gases de efeito estufa (GEE) emitidos na atmosfera, levando em consideração o potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao dióxido de carbono (CO₂). Isso permite comparar diferentes gases de efeito estufa em uma base comum, facilitando a análise e o desenvolvimento de políticas para reduzir as emissões. Ao calcular as emissões de diferentes gases, é comum convertê-las para sua quantidade equivalente de dióxido de carbono, usando seus fatores de equivalência. (IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)).

tegração³ (RIs) do estado do Pará. Optou-se por essa divisão devido à facilidade de analisar a aplicação de políticas públicas ambientais estaduais. Embora haja dificuldades pela ausência de dados estatísticos, as plataformas do Observatório do Clima e do MapBiomas fornecem dados atuais sobre emissões e cobertura do solo de forma robusta e confiável. Ainda, a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) disponibiliza dados socioeconômicos do estado do Pará. Os dados estaduais de emissões fornecidos pela plataforma SEEG compreendem o período 1990-2021, enquanto os dados municipais cobrem o período 2000-2019. O esforço proposto foi de compilar todas essas informações de maneira a relacionar os processos e dinâmicas que ocorrem na região amazônica, no estado do Pará e em seus municípios.

3 DINÂMICA DAS EMISSÕES DE GEE NO ESTADO DO PARÁ E EM SUAS REGIÕES DE INTEGRAÇÃO (RIs) NO PERÍODO 2000 A 2019

De acordo com a base de dados SEEG, no ano de 2021 foram emitidas 1,27 bilhão de toneladas de CO₂ e em todo o território da Amazônia Legal. Nesse mesmo ano, dentre todos os estados da região, o Pará foi o maior emissor, com 35,27% das emissões, seguido por Mato Grosso (21,18%). A menor emissão, por sua vez, ocorreu no Amapá, com 3,5% das emissões. No período entre 2001 e 2021, o Pará perdeu mais de 155.600 km² de floresta natural (Global Forest Watch, 2022). Esses números são alarmantes e refletem uma realidade complexa. A exploração do uso da terra, em grande parte maquiada sob o pretexto da expansão de atividades agropecuárias, tem sido uma das principais causas do desmatamento no estado do Pará.

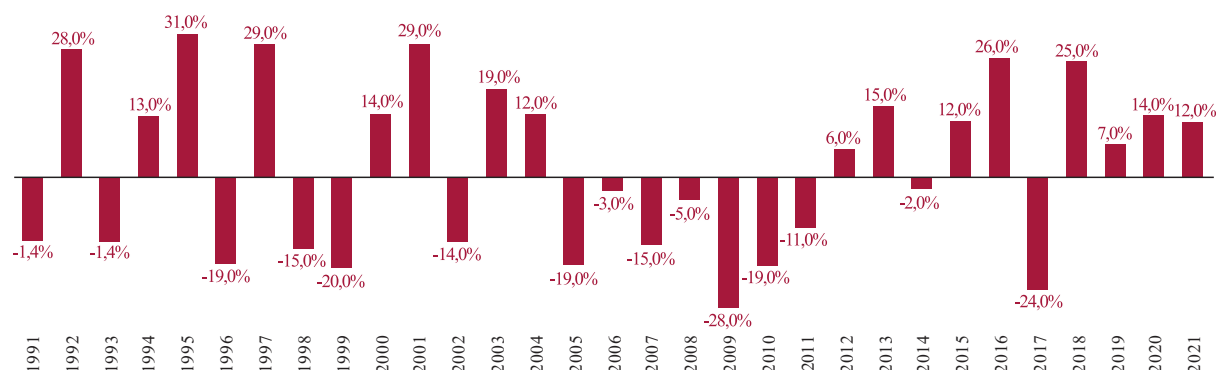
O Pará é um estado brasileiro que se localiza na Região Norte do Brasil. Suas fronteiras fazem divisa com dois países, Guiana e Suriname, e com seis estados brasileiros: Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Roraima e Tocantins. Com um território de 1.245.759,305 km², é o segundo maior estado do Brasil em termos de área, perdendo apenas para o Amazonas. Insere-se na Amazônia Legal na sua totalidade territorial e é constituído por 144 municípios, que possuem área média de 8.664,50 km², sendo o maior deles Altamira, com 159.696 km², e o menor Marituba, com 103,28 km². Abriga uma grande quantidade de terras indígenas (TIs) e Unidades de Conservação (UCs), que ocupam 42,7% do território, sendo a maioria das áreas formada por floresta primária (IBGE, 2020; Fapespa, 2019). A população do estado é de aproximadamente 8,1 milhões de habitantes com uma densidade demográfica de 6,51 hab./km², sendo uma das menores do País. A população paraense é relativamente jovem, com uma idade média de 32,4 anos, enquanto a expectativa de vida ao nascer é de 74,9 anos. A renda por domicílio é de R\$ 1.061,00 (IBGE, 2022).

O potencial paraense nos setores de mineração, energia e agropecuária é reconhecido tanto no cenário nacional quanto internacional. Na mineração, a grande capacidade do estado pode ser comprovada pelo fato de que abriga 7 das 33 principais regiões produtoras de minerais no Brasil: Carajás (PA), Aurífera Gurupi (PA e MA), Rio Capim (PA), Paragominas (PA), Capanema (PA), Aurífera Tapajós (AM e PA) e Baixo Paru/Jari (PA) (ADIMB, 2007). No setor de energia, produz 9,4% da energia do território brasileiro, sendo o 3º maior produtor de energia do País, atrás apenas do Paraná e de São Paulo. Com aproximadamente 58,62 GWh em 2021, 97,6% do potencial energético do estado é produzido nas hidrelétricas de Tucuruí (UHT) e Altamira/São Félix do Xingú (UH Belo Monte), com 51.025 Megawatts (MW) (EPE, 2020). Na agroindústria, o Pará desponta como grande produtor de grãos, com uma produção de 2,2 milhões de toneladas de soja em 2020. O estado é o maior produtor de óleo de palma do País, com uma produção anual de 1,5 milhão de toneladas, o que corresponde a 98% da produção nacional. Na pecuária, possui o 2º maior rebanho bovino do País, com 26 milhões de cabeças, e o município brasileiro com maior rebanho individual, São Félix do Xingú, com 2,3 milhões de cabeças (CODEC, 2021; PAM, 2021; PPM, 2021).

³ A constituição das RIs é fruto de uma iniciativa conjunta entre as autoridades públicas estaduais e municipais com o objetivo de aprimorar a eficácia das políticas públicas para essas áreas, que são compostas por municípios com dinâmicas similares. Essa medida parte da premissa de que o reconhecimento das peculiaridades locais e regionais é fundamental para o sucesso das ações governamentais, considerando as diferentes demandas e necessidades das populações e dos territórios. Com isso, busca-se promover um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável em todo o estado do Pará (Governo do Pará, 2008).

Os grandes volumes de emissões na Amazônia Legal explicam, em parte, porque os municípios paraenses que têm na sua base econômica a agropecuária apresentam crescimento econômico com degradação ambiental, combinados com baixo desenvolvimento econômico e pobreza, fato que também ocorre nos resultados do índice de Progresso Social⁴ aplicado aos municípios da Amazônia Legal. O IPS Amazônia 2023 atingiu uma nota igual a 54,32. Essa pontuação geral da Amazônia em 2023 está abaixo da média geral do IPS Brasil (67,94) (Oliveira, 1998; Alencar, 2017; Santos *et al.*, 2023).

Figura 1 – Taxa de Crescimento Anual das Emissões de GEE do Estado do Pará - (1991-2021)



Fonte: SEEG, 2021. Elaborado pelo autor.

A Figura 1 demonstra uma tendência de alta nas emissões a partir de 2015 até 2021, exceto em relação a 2017, que obteve uma queda nas emissões de 24% em relação a 2016, apontando uma reversão das ações de combate ao desmatamento orientadas pelo PPCDAm (Programa de Combate ao Desmatamento da Amazônia) entre 2004 e 2012. Essa escalada fez com que em 2021 o Pará retornasse a patamares de emissão de GEE semelhantes a 2006, ou seja, acima dos 400 milhões de toneladas de CO₂e. No período de 1991 a 2021, a taxa de crescimento médio das emissões é da ordem de 10,3% a.a., incentivada principalmente pelo abandono das políticas de fiscalização e combate ao desmatamento do governo federal no período pós-2015.

Gomes Júnior (2015) afirma que a Região Norte internaliza as frentes de ocupação da agropecuária no Brasil. E que o sudeste paraense (Regiões de Integração Araguaia, Xingú, Carajás) está inserido em zonas de acumulação por meio da expansão da fronteira agropecuária. Esse fenômeno sugere que a região ainda se caracteriza como área de avanço da fronteira agropecuária no País para que este se mantenha competitivo no mercado externo.

A Tabela 1 apresenta a soma das participações percentuais dos setores mudança do uso da terra e agropecuária nas emissões do Brasil, Amazônia Legal e Pará no período de 1990 e 2021.

Tabela 1 – Participação (%) dos setores de mudança do uso da terra e agropecuária nas emissões de CO₂ e do estado do Pará, da Amazônia Legal e do Brasil, nos anos de 1990 e 2021

Território	Mudanças no uso da terra	Agropecuária	Total
Pará (1990)	94	5	99
Pará (2021)	85	11	96
AMZ Legal 1990*	89	10	99
AMZ Legal 2021*	82	16	98
Brasil (1990)	67	19	86
Brasil (2021)	49	25	74

Fonte: SEEG (2020). Elaborado pelo Autor.

Nota: * Amazônia Legal exceto Pará.

4 O Índice de Progresso Social (IPS) mede de forma holística e robusta a performance social e ambiental de territórios (países, estados, municípios etc.). Esse índice foi elaborado por acadêmicos de grandes centros de pesquisa do mundo e, desde 2013, está sendo adotado globalmente com a liderança da Social Progress Imperative (SPI). Mais informações sobre o IPS Global 2023 estão disponíveis em: <https://www.socialprogress.org>.

Pela Tabela 1, vê-se que o estado do Pará ao longo desse período conseguiu reduzir sua participação de emissões de GEE no setor de Mudanças do Uso da Terra de 94% para 85%. No entanto, ampliou sua participação no setor Agropecuária de 5% para 11%. Isso sugere que a exploração de novas áreas está diretamente ligada à ampliação da atividade pecuária na região. A participação da Amazônia Legal corrobora com a situação do estado do Pará, evidenciando a atuação do modelo econômico definido para a Amazônia Legal, que também reduziu sua participação no setor de Mudanças do Uso da Terra (89% para 82%) e no setor agropecuário passou de 10% para 16%. Esses dados mostram que a pecuária na Amazônia Legal ampliou sua participação nas emissões de GEE em 6 vezes no período de 2000 a 2020.

Em relação ao Brasil, a situação é similar ao estado do Pará: uma redução no setor de Mudanças de Uso da Terra de 67% para 49% e um aumento no setor agropecuário evidenciando a escolha do País em produzir *commodities*, principalmente permitindo a ampliação das áreas de plantio e pastagens no Mato Grosso e Pará.

A Tabela 2 mostra as taxas de crescimento das emissões de GEE para o estado do Pará, Amazônia Legal e Brasil em diferentes períodos.

Tabela 2 – Taxas médias de crescimento (%) das emissões totais de GEE do estado do Pará, da Amazônia Legal e do Brasil, no período de 1990 e 2021

Períodos	Emissões totais do Pará	Emissões totais da Amazônia Legal**	Emissões totais do Brasil
1991-2021	2,23	2,27	0,56
1991-2000	3,31	5,07	0,38
2001-2010	-4,35	-5,00	-1,07
2011-2021	7,23	6,32	2,20

Fonte: SEEG (2020). Elaborado pelo Autor.

Nota: ** Com Exceção do Pará. Fonte: SEEG. Elaborado pelo Autor.

As taxas médias demonstram que mesmo com as ações de combate ao desmatamento ocorridas no período de 2003 a 2012, o Pará e a Amazônia Legal continuam numa trajetória de emissão de GEE alta (taxa média acima dos 2% em todo o período analisado, enquanto no Brasil essa taxa média é inferior à unidade). Para o Brasil, a interrupção do processo de mitigação das emissões se dá na última década, ou seja, de 2011 a 2021. Observa-se que nesta última década as emissões paraenses crescem a um ritmo mais acelerado do que as emissões brasileiras e da Amazônia Legal. Na década anterior – 2001 a 2010 –, as emissões paraenses caem menos que as emissões regionais (Amazônia Legal), mas em ritmo superior às emissões nacionais.

A composição das emissões paraenses em 2021 foi de 85,1% em Mudanças do Uso da Terra, 11,4% Agropecuária, 2,6% Energia, 0,2% Processos Industriais e 0,7% Resíduos, dos quais esses patamares se mantiveram ao longo desses 30 anos. Conforme apontado pelo Observatório do Clima (O.C., 2020), o estado é o maior emissor de GEE do País. O processo de queima da floresta derrubada para a formação de novas áreas ou no uso do fogo para a manutenção de pastagens degradadas é prática ultrapassada que agrava as emissões de GEE e compromete o setor produtivo de carne e soja comprometido com a sustentabilidade (SEEG, 2020).

Tabela 3 – Taxas médias de crescimento (%) das emissões totais de GEE do estado do Pará, por setor de origem no período de 1991-2021

Períodos	Agropecuária	Mudanças no uso da terra	Energia	Processos industriais
1991-2021	3,91	2,38	3,49	0,92
1991-2000	4,21	3,37	5,65	2,31
2001-2010	4,98	-5,52	2,41	2,66
2011-2021	2,67	8,66	2,51	-1,93

Fonte: SEEG (2020). Elaborado pelo Autor.

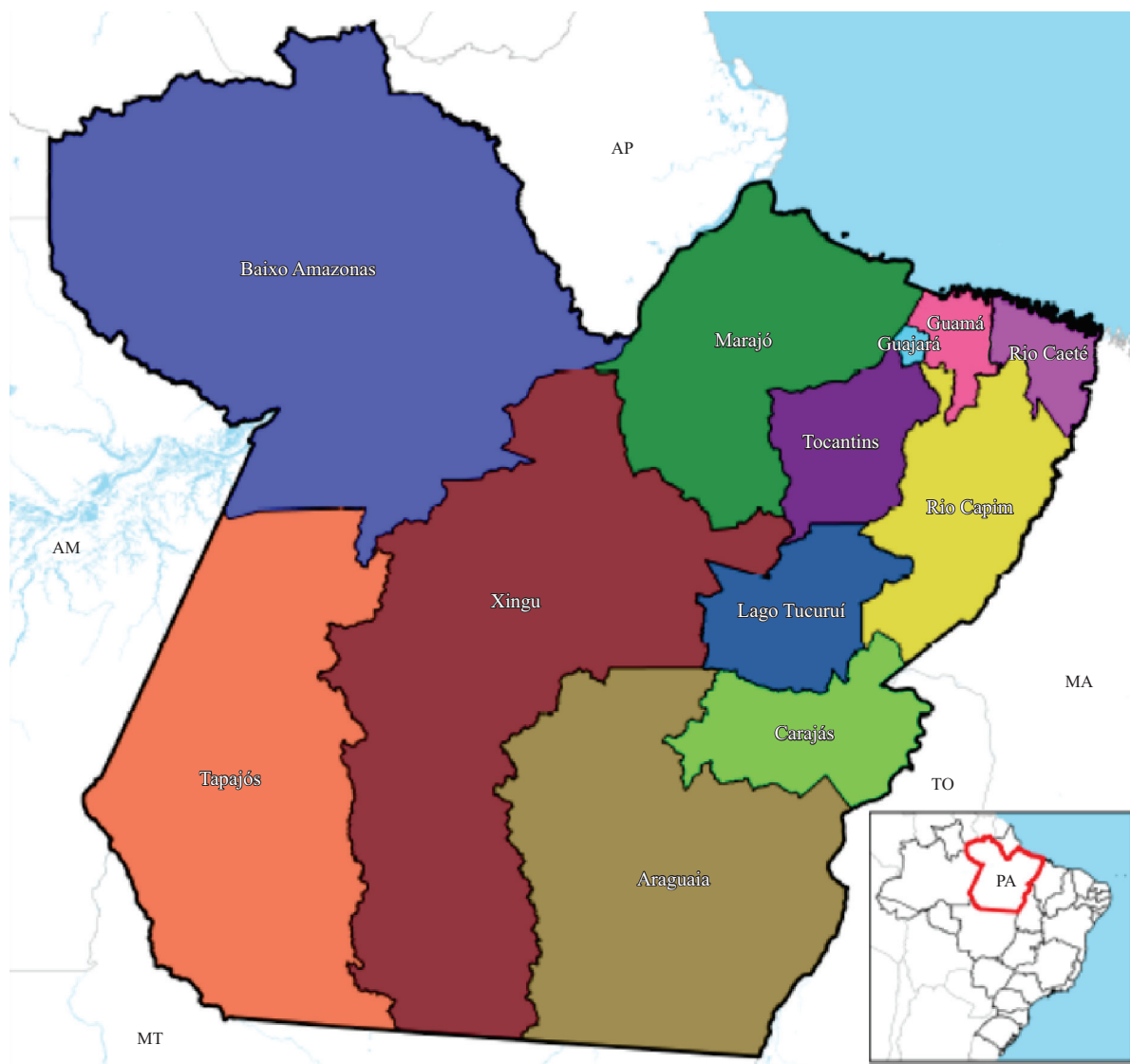
As taxas de crescimento das emissões de GEE por setor no estado do Pará evidenciam o impacto da atividade pecuária no setor de mudanças do uso da terra. Ao longo do período de 1991 a 2021, as emissões de GEE ligadas à Agropecuária alcançaram um crescimento médio de 3,91% ao ano, enquanto no setor de Mudanças do Uso da Terra tiveram um crescimento médio de 2,38% a.a., impulsionado principalmente pela necessidade de novas áreas para a atividade pecuária. O período de 1991 a 2000 apresenta expansão em ambos os setores com uma taxa média de crescimento 4,21% para o setor da Agropecuária e 3,37% para o setor de Mudanças do Uso da Terra. No período de 2001 a 2010, o setor da Agropecuária continua a escalada com uma taxa média de 4,98% a.a. de aumento nas emissões do setor, enquanto o setor de Mudanças do Uso da Terra apresentou uma redução de -5,52% a.a., o que evidencia que as ações de combate ao desmatamento ocorridas nesse período foram fundamentais para reduzir as emissões de GEE nesse setor.

No período de 2011 a 2021, o setor ligado à Agropecuária alcançou uma taxa de crescimento médio de 2,67% a.a., quase que a metade da taxa média do período anterior, evidenciando a redução das emissões no setor. Por outro lado, o setor de Mudanças do Uso da Terra alcançou uma taxa de 8,66%, evidenciando o avanço do desmatamento sobre novas áreas de florestas nessa última década, confirmando o relaxamento sobre as medidas que frearam esse avanço no período anterior.

A grande extensão territorial dos municípios paraenses é um obstáculo permanente à efetiva fiscalização ambiental. O estado do Pará apresenta uma divisão territorial em 6 mesorregiões, 22 microrregiões e 12 Regiões de Integração (RIs). As mesorregiões são Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste Paraense, Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense, cada uma com características próprias que refletem a complexidade do território amazônico, conforme aponta Becker (2015) ao se referir às diversas “Amazônias” que compõem a região, muito embora o governo federal tenha tradicionalmente considerado todo esse território de maneira uniforme.

A análise das políticas públicas estaduais tem se concentrado em RIs, que agrupam municípios com características semelhantes. As RIs são: Araguaia, Baixo Amazonas, Carajás, Guajará, Guamá, Lago Tucuruí, Marajó, Rio Capim, Rio Caeté, Tapajós, Tocantins e Xingu. Essa regionalização permite uma análise mais precisa das necessidades de cada área e a implementação de políticas públicas mais eficazes. A Figura 2 abaixo apresenta o mapa das RIs do estado do Pará e sua localização geográfica.

Figura 2 – Mapa do estado do Pará com suas Regiões de Integração (RIs)



Fonte: FASEPA 2016
Elaboração: FASEPA 2016

Entre 2000 e 2019, As RIs com maior participação nas emissões do estado são: Araguaia (24%), Xingú (19%), Lago Tucuruí e Rio Capim (10% cada), Tapajós (9%), Carajás e Baixo Amazonas (7% cada) e Tocantins (6%). As outras 4 RIs (Guamá, Guajará, Rio Caeté e Marajó) somam pouco mais de 8% de participação. Ao longo desse período, a trajetória dessas participações não se alterou significativamente.

Em termos municipais, segundo dados do SEEG, em 2019 o município que mais emitiu no Brasil foi Altamira, localizado na RI Xingú, com 35,2 milhões de toneladas brutas de . Desse total, as mudanças de uso da terra, em sua maior parte provenientes do desmatamento, respondem por 33,4 milhões de toneladas, o que representa 21% do total emitido pelo estado em 2019. O município possui a maior extensão territorial do País com 159.696 km², e sua área desmatada até 2021 era de 9.581,47 km², o que no acumulado desde o ano 2000 corresponde a 6% de seu território, fazendo com que o município tenha um potencial de remoções próximo dos 26 milhões de toneladas brutas de (PRODES, 2020).

Como segundo maior emissor está o município de São Félix do Xingu (PA), localizado na RI Araguaia, com 28,8 milhões de toneladas brutas de . Desse total, no setor de mudanças de uso da terra, em sua maior parte provenientes do desmatamento, responde por 24,3 milhões de toneladas, o que representa 7,5% do total emitido pelo estado em 2019, seguidas pela agropecuária, com 4,22 milhões de toneladas de , com 2% de participação das emissões estaduais, emitidas principalmente pela digestão do rebanho bovino, já que o município tem o maior rebanho bovino do País, estimado em 2,3 milhões de cabeças, conforme censo agropecuário (IBGE, 2020). O município

possui 84.213 km², e sua área desmatada em 2020 é de 13.727 km², o que corresponde a 16,3% da sua área total (PRODES, 2021).

O destaque, como já citado, é a RI Xingú com 4 municípios: Altamira, Pacajá, Anapú e Uruará, que apresentam juntos volumes acumulados de emissões de GEE críticos, com emissões *per capita* entre 100 e 300 t CO₂e/hab. (SEEG, 2022).

Em 2019, a RI Araguaia aparece com uma concentração ainda mais evidente, pois o segundo maior emissor do estado e do Brasil, São Félix do Xingú, representa 7% das emissões do estado e 54% das emissões da RI Araguaia. Essa RI é composta por outros 13 municípios que, somadas suas emissões, não atingem os mesmos níveis de município de São Félix do Xingú. Isso sugere que há uma concentração das atividades ligadas ao desmatamento e uso do solo nesse município, que possui os atributos necessários para deslocar a pecuária da RI Araguaia, ou seja, grande extensão territorial com terras “baratas” e grandes áreas de florestas.

A Tabela 4 apresenta a média das emissões de GEE *per capita* e taxas médias de crescimento das emissões de GEE das RIs do estado do Pará no período de 2001 a 2019, evidenciando a persistência das emissões de GEE em algumas RIs do estado ao longo desse período.

Tabela 4 – Emissões de GEE *per capita* média e taxa média de crescimento das emissões de GEE, nas Regiões de Integração do estado do Pará, no período de 2001 a 2019

Regiões de Integração	Emissões de GEE <i>per capita</i> média (tonelada/habitante)	Taxa média de crescimento de GEE (%)
Araguaia	324,90	-3,0
Baixo Amazonas	46,32	3,6
Carajás	73,31	-2,8
Guajará	2,91	0,12
Guamá	15,28	-2,1
Lago Tucuruí	109,39	0,67
Marajó	13,48	13,0
Rio Caeté	23,43	-0,11
Rio Capim	57,53	1,1
Tapajós	175,80	8,1
Tocantins	31,76	22,9
Xingú	231,13	4,8

Fonte: SEEG, 2022. Elaborado pelo Autor.

As RIs do estado do Pará passaram por mudanças significativas durante o período analisado. Entre 2006 e 2014, houve redução das emissões de GEE no estado do Pará da ordem de 70%. A partir de 2015, houve um processo de reversão das emissões com a intensificação das emissões de GEE em toda a Amazônia (SEEG, 2020).

A análise das médias de emissões de GEE *per capita* juntamente com as taxas médias de crescimento das emissões de GEE das RIs do estado do Pará sugere que 4 das RIs (Araguaia, Carajás, Guamá e Rio Caeté) apresentam uma média de emissão *per capita* alta e uma taxa média de crescimento negativa, indicando que no período de 2001 a 2019 essas RIs vêm reduzindo suas emissões de GEE. No entanto, ainda apresentam uma média de emissão *per capita* alta, caso da RI Araguaia e da RI Carajás, com uma emissão de GEE *per capita* média de 324,90 e 73,31 ton./hab. A RI Araguaia figura como uma das grandes regiões emissoras de GEE, em função do município de São Félix do Xingú, que possui volumes de emissões próximos dos 35 milhões de toneladas de CO₂e. A pecuária é intensa nesse município, que possui o maior rebanho bovino do Brasil e terra ainda barata, o que concentra cada vez mais a pecuária da RI Araguaia em São Félix do Xingú. A pressão por novas áreas recai muita das vezes sobre as UCs e TIs, que passam a sofrer com o desmatamento, emissões de CO₂ e todo tipo de exploração.

A RI Carajás também concentra níveis de emissões de GEE *per capita* médio alto, 73,31 ton./hab. No entanto, é a que apresenta a segunda maior taxa média negativa (-2,8%), evidenciando que ao longo desse período houve redução das emissões de GEE em alguns de seus municípios, mas que ainda sofrem

com o desmatamento. A RI Guamá, por sua vez, apresenta uma emissão de GEE *per capita* média de 15,28 ton./hab. E uma taxa média de crescimento de -2,1%, indicando uma trajetória de queda numa região em que as emissões são pouco expressivas *vis-à-vis* as emissões estaduais.

Outras 4 RIs (Baixo Amazonas, Lago de Tucuruí, Tapajós Xingú) apresentaram um nível de emissões *per capita* alto e taxas de crescimento médio positivas, o que sugere que nessas RIs o processo de desmatamento e os níveis de emissões de GEE continuam acumulando estoques de emissões significativos, o que certamente demanda atenção das instâncias de governo no que se refere ao combate ao desmatamento e fiscalização. Essas RIs apresentaram uma emissão média *per capita* acima de 100 ton./hab.

As taxas médias de crescimento positivas mostram que as atividades ligadas ao uso do solo estão em franco avanço, e as ações que porventura foram aplicadas para deter esse avanço não foram suficientes para reverter o processo de desmatamento e queima para ampliação de novas áreas para exploração agropastoril. Nessas RIs, as emissões estão em níveis significativos e preocupantes, uma vez que são protagonistas do desmatamento, dos conflitos agrários e do mercado especulativo de terras.

A RI Marajó apresenta um crescimento médio de 13%, e um nível de emissão *per capita* médio de 13,48 ton./hab. A extração de madeira e as atividades mineradoras são as principais responsáveis pelas emissões de GEE, nessa RI, juntamente com desmatamento e as queimadas. A RI Xingú e a RI Tapajós apresentam emissões de GEE *per capita* média de 231,13 e 175,80 ton./hab., e taxas médias de 4,8% e 8,1% respectivamente. Essas RIs são de fato as que mais apresentam problemas estruturais no combate ao desmatamento. Possuem dificuldade de acesso, grandes áreas territoriais e muitas UCs que sofrem pressão de atividades ilegais, como a mineração e a expansão da pecuária de baixa produtividade. O município de Altamira está localizado na região Xingú e, como citado, é o maior emissor de GEE do Brasil.

A RI Guajará concentra o polo industrial do estado e é uma das mais populosas, apresentando uma emissão de GEE *per capita* média de 2,91 ton./hab., e uma taxa de crescimento médio de 0,12% nesse período. A RI Tocantins apresenta uma taxa média de crescimento das emissões positiva alta (22,9%) e uma emissão *per capita* média de 31,76 ton./hab., sendo uma das RI que aparecem como novo polo de concentração do desmatamento pós-2015. Trata-se de uma RI tradicionalmente extrativista, que tem na sua base econômica a cadeia produtiva do açaí e da mandioca.

4 GOVERNANÇA E POLÍTICAS AMBIENTAIS: A IMPORTÂNCIA DA ATUAÇÃO DO ESTADO E DE UMA VISÃO POLICÊNTRICA

A seção anterior mostrou que o desafio de se mitigar as emissões no estado do Pará está relacionado à redução do desmatamento. Por sua vez, a história recente brasileira mostra que o sucesso no controle do desflorestamento nos biomas brasileiros, principalmente na Amazônia, está diretamente relacionado ao estabelecimento de uma boa governança ambiental e às medidas de fiscalização e controle. Nunes *et al.* (2024) mostram a importância da continuidade do compromisso do Estado com o *enforcement* ambiental, o que corrobora o argumento de que a atuação estatal firme é condição *sine qua non* para a construção de uma governança ambiental que seja funcional para a região Amazônia.

Na governança ambiental, as questões político-institucionais relacionadas à tomada de decisão, às modalidades de diálogo entre o Estado e os grupos organizados da sociedade dizem respeito ao processo de formulação, acompanhamento e implementação de políticas públicas. Esse conceito engloba aspectos relativos à articulação e colaboração entre atores sociais e políticos, estruturas institucionais que coordenem e regulamentem transações dentro e através das fronteiras do sistema político, bem como os mecanismos tradicionais de agregação de interesses, como partidos políticos e grupos de pressão, além de redes sociais e associações de diversas naturezas (Moura *et al.*, 2016). Nesse modelo, as políticas públicas ambientais formuladas quase sempre desconsideram as populações que deveriam fazer parte do processo, muitas vezes devido a pressões de grupos organizados com forte poder econômico, sistematicamente articulados, que pautam políticas de acordo com interesses muito particulares.

As medidas de combate ao desmatamento que surtiram algum resultado no passado no Brasil são

provenientes de ações de comando e controle, que tiveram e têm sua importância para a preservação da floresta e fazem parte do arcabouço de políticas do governo federal. Nessa próxima década, no entanto, surge a necessidade de ir além, não somente no que diz respeito à preservação da biodiversidade, mas também de geri-la de forma sustentável, o que inclui as áreas de florestas existentes e já exploradas, principalmente no estado do Pará e na Amazônia Legal, dada a complexidade do território amazônico (IPCC, 2020, 2021).

O desafio relacionado à gestão das florestas, e como exemplo da Floresta Amazônica, é típico de um problema global devido às implicações no clima global, biodiversidade e ecossistemas. No entanto, as ações necessárias para lidar com esses desafios ocorrem em níveis locais e regionais, envolvendo comunidades indígenas, governos municipais, estaduais e nacionais, bem como empresas e organizações internacionais. Particularmente no caso das florestas, estas são caracterizadas como recursos comuns (CPR), o que implica em um grau de complexidade ainda maior para a aplicação de políticas. Do conceito fundamental da governança dos recursos comuns, surge um sistema alternativo de governança proposto por E. Ostrom, que enfatiza a ideia de *policentricidade*, que abraça a ação coordenada em múltiplos níveis e instâncias de governança como um instrumento analítico para gerar mudanças em escala global.

O conceito de policentrismo se configura como a administração de atividades sociais por meio de múltiplas unidades interconectadas. Essas unidades, inicialmente estabelecidas como centros individuais, orquestram suas ações e relações de maneira a alcançar objetivos compartilhados. A escolha de incorporar unidades de governança em escalas pequenas e médias, juntamente com suas redes de informação e mecanismos de monitoramento intensivo das ações coletivas, mostrou-se mais eficaz na gestão dessas ações e suas variáveis. Consequentemente, essa abordagem também é mais bem-sucedida no tratamento de problemas globais, como a mudança climática (Ostrom, 2010).

A abordagem policêntrica implica na descentralização das autoridades de governança em diversos níveis em contraposição à concentração em uma única entidade centralizada. Nesse arranjo, cada entidade opera dentro de jurisdições interligadas, detendo considerável autonomia, e promulga normas e regulamentos dentro de um âmbito específico, que pode abranger desde a esfera familiar, passando por empresas, governos locais, redes de governança local, e até mesmo em âmbitos estaduais, provinciais, regionais, nacionais e internacionais.

O propósito da abordagem policêntrica, além de buscar o pluralismo, está em trilhar um caminho que equilibre os potenciais custos associados à inclusão de múltiplos e frequentemente interligados domínios de governança, com as vantagens inerentes de experimentação, aprendizado, construção de confiança e consideração de um contexto sensível.

O ponto de vista policêntrico está na convergência das ações entre diferentes unidades de poder, especialmente no âmbito das comunidades locais (o que engloba sua autonomia para estabelecer regras e sua capacidade de monitorar e se comunicar diretamente com os cidadãos). Tal convergência é um fator determinante para avaliar o êxito ou fracasso na governança de interesses públicos. Isso se deve ao fato de que essas instituições, guiadas por um conjunto completo de regras, têm o potencial de maximizar a orientação do comportamento social em prol da realização de tarefas colaborativas e da resolução adequada de potenciais conflitos.

A perspectiva policêntrica encoraja esforços experimentais em diversas escalas de interesse, oferecendo análises comparativas das descobertas em contextos específicos. Isso, por sua vez, auxilia na estimativa dos custos e benefícios das estratégias e reforça a confiança mútua no cumprimento de ações colaborativas (Ostrom, 2010). Ela nos fornece um amplo quadro para experimentação, escolha e aprendizado dentro das estruturas sociais. Isso impulsiona a inovação, adaptação, confiabilidade e cooperação entre os atores envolvidos, buscando resultados mais vantajosos, justos e sustentáveis em diversas escalas de interesse.

Quando se olha o caso do Brasil e do Pará, os dados analisados na seção anterior mostram que entre os anos de 2004 e 2012 houve uma redução das emissões brasileiras nos setores de Mudanças do Uso da

Terra e Agropecuária da ordem de 69,78%. No Pará, a aplicação das medidas do PPCDAm resultou em uma redução das emissões de GEE em 64% nesse período em relação aos níveis de 2005 (EPE, 2020; MME, 2020).

A respeito da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), esta estabeleceu o Zoneamento Ambiental com o intuito de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, bem como promover o desenvolvimento socioeconômico, a segurança nacional e a proteção da vida humana. Daí, surge o conceito de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), buscando utilizar o ordenamento territorial e políticas públicas para um melhor aproveitamento dos espaços (Governo do Pará, 2020). Nesse sentido, uma das primeiras iniciativas do estado do Pará foi implementar políticas e programas voltados à mitigação de problemas de ordenamento territorial, nesse caso o ZEE.

O ZEE do estado do Pará dividiu a área territorial em quatro zonas: Terras Indígenas (no mínimo 28% do estado), Unidades de Conservação de Uso Sustentável, existentes e a serem criadas (pelo menos 27% do estado), Unidades de Conservação de Proteção Integral, existentes e propostas (no mínimo 10% do estado) e uma zona para consolidação de atividades produtivas de até 35% do território estadual, que, em síntese, definiu que: 65% da área do estado são destinados à conservação e uso florestal, enquanto 35% são destinados à consolidação de atividades produtivas, principalmente a agropecuária. Dos 14 polígonos florestais identificados, 10, ou seja, 77% da área total, estão situados na zona destinada às Unidades de Conservação de Uso Sustentável, enquanto os outros quatro estão totalmente localizados em zonas destinadas à consolidação do desenvolvimento de atividades produtivas, somando 23% da área (Imazon, 2020).

No âmbito estadual, o Programa Estadual Amazônia Agora (PEAA) tinha o objetivo de diminuir as desigualdades regionais no estado do Pará por meio da aplicação de políticas nas 12 RIs em uma regionalização implementada em 2008. O PEAA identificou a necessidade de ações prioritárias em três delas: Araguaia, Tapajós e Xingú, devido ao grande impacto do desmatamento. Essas três RIs somam uma extensão territorial de 578.047 km² e são responsáveis por cerca de 70% do desmatamento, 48% dos casos de conflitos fundiários e 68% dos casos de trabalho análogo ao escravo no estado do Pará. Portanto, priorizá-las é uma medida importante para combater esses problemas e promover a sustentabilidade nessas áreas (Governo do Estado do Pará, 2020).

Na escala municipal, o Programa Municípios Verdes (PMV), criado em 2011 pelo Decreto Lei nº54/2011, tinha como objetivo principal combater o desmatamento e fortalecer a produção rural sustentável, tendo como inspiração o município de Paragominas, primeiro município a sair da lista dos maiores desmatadores da Amazônia já em 2010, reduzindo suas taxas de desmatamento e degradação ambiental em quase 90% (MMA, 2010). No entanto, é importante destacar que o efeito do programa foi relativamente pequeno, representando uma diminuição de apenas 2% na proporção de área desmatada por município (Alvin, 2023).

A característica principal na constituição do PMV era seu alinhamento com o PPCDAm e com o Plano de Prevenção, Controle e Alternativas ao Desmatamento do Estado do Pará (PPCAD), que por sua vez norteiam praticamente todo o arcabouço institucional para os municípios no combate ao desmatamento (Neves, 2013).

Nesse sentido, a primeira versão do PPCDAm funcionou como o programa operativo de combate ao desmatamento do governo federal em parceria com os estados e está organizado em três eixos: ordenamento territorial e fundiário, monitoramento e controle ambiental e fomento a atividades produtivas sustentáveis. Por atuar no plano tático e operacional, tem estreita proximidade com as ações previstas no PMV, tanto assim que os eixos de ação previstos no PPCDAM e no PMV são praticamente os mesmos, com a diferença de que o programa estadual contém um eixo específico para a Gestão Ambiental Compartilhada, já que prioriza a descentralização da gestão para os municípios (Pará, 2020).

Para os municípios paraenses, não há dúvida de que o desafio de enfrentar o desmatamento passa por ações que envolvam outros atores sociais e um maior repasse de recursos financeiros. Desse modo, os municípios poderiam atuar em ações concretas contra o desmatamento e as emissões de GEE no es-

tado. De acordo com Neves (2023), o PMV resultou em uma redução significativa na proporção de área desmatada nos municípios participantes em comparação com os não participantes. Contudo, é essencial ressaltar que o impacto do programa foi relativamente modesto, registrando uma diminuição de apenas 2% na proporção de área desmatada por município. Esses resultados indicam que o programa exerce um impacto positivo, porém limitado, na redução do desmatamento no estado do Pará.

Costa e Fleury (2015) destacam que no PMV a relação entre política ambiental e territorial é estabelecida por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR) como instrumento de articulação entre as três esferas de governança (Federal, Estadual e Municipal) na implantação das políticas de comando e controle em relação ao desmatamento. A transformação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em uma das principais exigências para a regularização da propriedade, dispensando a apresentação da cadeia dominial como prova de aquisição lícita da terra, pode ser vista como uma decisão controversa e que pode trazer graves consequências para a segurança jurídica e ambiental (Fearnside, 2023)

Ao dispensar a apresentação da cadeia dominial como comprovação da origem legal da propriedade, o poder público pode assumir um papel de avalista das terras griladas, ou seja, de propriedades que foram adquiridas de forma ilegal. Isso pode colocar em risco os direitos dos povos tradicionais e indígenas, além de incentivar o desmatamento e outras atividades ilegais (Gomes Junior, 2015; Michelloti, 2020; Malheiro, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica econômica do estado do Pará ainda está inserida no processo de expansão de um modelo econômico iniciado anos 1970, que está diretamente ligado à exploração da floresta e ao uso do solo. Atividades como a mineração e a pecuária de baixa produtividade continuam sendo a opção que considera a abundância de recursos naturais, nesse caso, minérios e terra disponível, descartando outras possibilidades de recursos, como biodiversidade, potencial turístico e de sequestro de carbono, por exemplo.

A análise das emissões de GEE nos municípios paraenses revela que as forças que promovem o desmatamento, historicamente, concentram-se em municípios específicos das RIs Araguaia, Tapajós e Xingú, que mantêm suas atividades econômicas atreladas a altos níveis de emissões, exploração da floresta de forma indiscriminada e ao uso do solo. Essas 3 regiões são responsáveis por 63,7% de todas as emissões do estado nos setores de Mudanças do Uso da Terra e no setor da Agropecuária.

Dos 10 municípios que mais emitem no Brasil, quatro deles estão na RI Xingú. Destaca-se Altamira, que em 2021 foi o município que mais emitiu GEE, seguido por Pacajá, Placas e Anapú. São Felix do Xingú como o segundo maior emissor, na RI Araguaia, apresenta níveis de emissões de GEE maior do que muitos países da Europa. Só Altamira e São Felix do Xingú foram responsáveis por 14% de todas as emissões do estado do Pará em 2021.

De acordo com o conceito de policentricidade na análise das políticas ambientais da Amazônia e do estado do Pará, é possível perceber que as RIs paraenses e seus municípios apresentam alguns fatores que contemplam a gestão ambiental. No entanto, carecem de articulação com os demais atores sociais e níveis de governança e integram programas que mantem o *status quo* da política ambiental centralizada que necessita de ações por parte do governo federal para obter resultados. Nas ações contra o desmatamento, existe a barreira do ordenamento territorial, já que 65% do território paraense é de responsabilidade do governo federal, o que se impõe como barreira a ações de outras instâncias de governo.

Destaca-se que as ações de combate ao desmatamento desempenharam um papel crucial no comportamento das emissões provenientes das mudanças de uso da terra no período de 2006 a 2014. Tais medidas fizeram com que as emissões paraenses diminuíssem aproximadamente 64% em relação ao ano de 2005, exercendo uma influência significativa nas emissões nacionais. Diante dessa conjuntura, fica evidente a relevância das políticas públicas implementadas, com destaque para o PPCDAm, visando conter efetivamente a degradação das áreas florestais na região amazônica. Essa abordagem tem o potencial de resultar na diminuição das emissões associadas a esse processo, com repercussões positivas

em termos de redução das emissões de GEE nos municípios paraenses. No entanto, como foi visto ao longo do artigo e atestado pelos dados, caso tais políticas sejam abandonadas – ou mesmo diante de um relaxamento do comprometimento do Estado com o *enforcement* ambiental –, os níveis de emissão retornam devido à não aplicação de mecanismo de gestão das florestas.

A falta de coordenação entre as várias esferas de governo no que diz respeito à constituição de políticas públicas ambientais para a Amazônia evidencia a complexidade que envolve a gestão do território amazônico, inserido em um contexto de pressão de grupos econômicos e do capital internacional, que despreza o papel crucial da Amazônia no equilíbrio do clima do planeta.

REFERÊNCIAS

BECKER, B. K.; STENNER, C. **Um Futuro para a Amazônia**. v. 1. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2008. 150 p.

CARVALHO, A. C. **Expansão da fronteira agropecuária e a dinâmica do desmatamento florestal na Amazônia paraense**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2012.

COSTA, J. M.; FLEURY, M. F. O Programa “Municípios Verdes”: estratégias de revalorização do espaço em municípios paraenses. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 61-76, 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

EVANS, S. Analysis: **Which countries are historically responsible for climate change?** Carbon Brief, 2021. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. **World Resource Review**, v. 15, n. 3, p. 352-361, 2003.

GOMES JUNIOR, E. Aspectos da agricultura subdesenvolvida como crítica à tese da última fronteira: estudo sobre o Matopiba. **Revista Política e Planejamento Regional**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, julho/dezembro 2015, p. 351-371.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2020>.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>.

IMAZON - INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZONIA. <https://amazon.org.br/>.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021**: Sixth Assessment Report. Genebra: IPCC, 2020.

MALHEIRO, B.; PORTO-GONÇALVES, C. W.; MICHELOTTI, F. **Horizontes amazônicos**: para repensar o Brasil e o mundo. 1. ed. São Paulo: Fundação Rosa Luxemburgo; Expressão Popular, 2021

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade** - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MICHELOTTI, F.; MALHEIRO, B. Questão agrária e acumulação por espoliação na Amazônia. **Revista da ANPEGE**, v. 16, n. 29, p. 641-680, 2020. <https://doi.org/10.5418/ra2020.v16i29.12495>.

MOURA, A. M. M. de (Org.). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016.

NUNES, F. S. M.; SOARES-FILHO, B. S.; OLIVEIRA, A. R. *et al.* Lessons from the historical dynamics of environmental law enforcement in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports** **14**, 1828, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52180-7>.

OC-OBSERVATÓRIO DO CLIMA - **Sistema de emissões e remoções de gases do efeito estufa - SEEG**. Municípios - Catálogo 87 Soluções Para Redução dos Gases de Efeito Estufa nos Municípios Brasileiros. Agosto 2021 <https://plataforma.seeg.eco.br/solutions/#>.

OSTROM, E. **Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action**. Cambridge University Press, 1990. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>.

_____. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. **American Economic Review**, v. 100, n. 3, p. 641-672, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641>.

SANTOS, D.; LIMA, M.; WILM, M.; SEIFER, P.; VERÍSSIMO, B. **Índice de Progresso Social na Amazônia Brasileira – IPS Amazônia 2023**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2023.

SANTOS, I. A. **Economia ecológica e políticas públicas: um olhar sobre o Cerrado brasileiro**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.523>

SOUZA, J. S. A. de. **O programa de zoneamento-ecológico-econômico para a Amazônia legal e a sustentabilidade: aspirações e realidades**. 2008. 409 f., il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TANURE, T.; CAMPOS, R. F. A.; REIS, J. C. dos; et al. Farmers' perceptions of climate change affect their adoption of sustainable agricultural technologies in the Brazilian Amazon and Atlantic Forest biomes. **Climatic Change**, v. 177, p. 8, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03657-3>. Acesso em: 17.01.2023.

O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA E A PRODUÇÃO INDUSTRIAL NOS ESTADOS BRASILEIROS: EVIDÊNCIAS PARA O PERÍODO 2003-2019

The cost of electricity and industrial production in Brazilian states: evidence for the period 2003-2019

Reisoli Bender Filho

Economista. Doutor em Economia Aplicada. Professor do Departamento de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Santa Maria. reisoli.bender@ufsm.br

Matheus Saraiva dos Santos

Economista. Mestrando em Economia pela Universidade Federal de Santa Catarina. matheus.saraivadosantos@gmail.com

Resumo: A energia elétrica é parte relevante dos custos de produção do setor industrial, de forma que variações nesses gastos provocam impactos negativos na produção da indústria e perdas econômicas. Contudo, esses efeitos tendem a ser diferenciados entre as regiões, em decorrência de heterogeneidades produtivas e estruturais, além de políticas tributárias locais. Essa discussão subsidiou o objetivo de analisar o impacto do custo da energia elétrica sobre a produção industrial dos estados brasileiros, no período de 2003 a 2019, a partir da aplicação de um modelo de dados em painel. Os resultados corroboram o efeito redutor das tarifas de energia elétrica sobre a produção industrial dos estados, enquanto a tributação não demonstrou efeito determinante. Também, constatou-se a existência de um efeito multiplicador para o tamanho de mercado, como também que a aglomeração espacial é relevante para a produção industrial. Essas evidências fomentam implicações para políticas energética e industrial quanto às especificidades regionais, uma vez que os estados possuem padrões de consumo de energia, estruturas tributárias e dotações fatoriais diferenciados.

Palavras-chave: produção industrial, tarifa energia elétrica, tributação.

Abstract: Electricity is a significant part of the industrial sector's production costs, so variations in these costs have a negative impact on industrial production and economic losses. However, these effects tend to differ between regions due to production and structural heterogeneities, as well as local tax policies. This discussion supported the objective of analyzing the impact of the cost of electricity on the industrial production of Brazilian states from 2003 to 2019, using a panel data model. The results corroborate the reducing effect of electricity tariffs on the industrial production of the states, while taxation had no determining effect. There is also a multiplier effect for market size, and spatial agglomeration is relevant to industrial production. This evidence raises implications for energy and industrial policies in terms of regional specificities, since states have different energy consumption patterns, tax structures and factor endowments.

Keywords: industrial production, electricity tariffs, taxation, Brazilian states.

JEL Classification: L11, C33.

1 INTRODUÇÃO

A energia desempenha papel central na dinâmica produtiva e, conseqüentemente, no crescimento econômico, pois é a fonte primária à produção, distribuição e consumo (Brandão; Divino, 2020). A ampliação da capacidade produtiva, o desenvolvimento de infraestrutura, os estímulos à inovação e a atuação do comércio são influenciados pela disponibilidade de fontes energéticas (Li; Leung, 2021; Dai et al., 2022). Essas condições fazem com que a relação entre a produção econômica e o custo de energia tenha permeado os debates científico e econômico nas últimas décadas.

Essa relação tem sido discutida, predominantemente, a partir de duas abordagens. A primeira, baseada na hipótese de crescimento, argumenta que a energia é parte fundamental do processo de expansão econômica, enquanto a segunda, pautada na hipótese de conservação, considera que a energia exerce influência mínima ou mesmo é neutra no processo de crescimento econômico (Ghali; Sakka, 2004; Stern, 2011).

A partir de Kraft e Kraft (1978), diversos estudos foram desenvolvidos nas últimas décadas, contudo, as evidências são conflitantes e não conclusivas entre o custo da energia e a produção econômica (Lee; Chang, 2007; Korsakiene et al., 2014; Streimikiene; Kasperowicz, 2016). As discussões foram intensificadas como respostas aos crescentes desequilíbrios entre oferta e demanda, o que Ferreira Neto et al. (2016) justificam devido ao fato de que os países possuem diferentes padrões de consumo e fontes de energia, como também por alterações crescentes nos custos da energia elétrica em função de crises hídricas, o que exige a utilização de fontes energéticas mais caras (Tabosa et al., 2019; Ikeda, 2020).

Essas discussões fundamentaram o objetivo de analisar o impacto do custo da energia elétrica sobre a produção industrial dos estados brasileiros, no período de 2003 a 2019. As contribuições seguem dois pontos principais: (i) ampliar o debate acerca da relação entre o custo de energia elétrica estadual, a partir da análise do fornecimento e da tributação, com o crescimento da atividade industrial; e (ii) apresentar as diferenças dessa relação para os estados brasileiros, ainda escassa em termos empíricos.

Para a economia brasileira, ainda são encontrados estudos em número reduzido e com enfoques diversos, caso de Irfi et al. (2009), de Santos (2012), de Gadelha e Cerqueira (2014), de Ferreira Neto et al. (2016), de Tabosa et al. (2019), de Brandão e Divino (2020) e de Barbosa e Mattos (2021). Nessa direção, as discussões sobre a referida relação têm implicações políticas, como exposto por Ferreira Neto et al. (2016) e Brandão e Divino (2020), como também em função das disparidades regionais crescentes, as quais têm, entre seus argumentos, as condições para o desenvolvimento do processo produtivo, o qual está associado com o custo e com a capacidade de fornecimento de energia (Stern, 2011; Korakiene et al., 2014).

Além da complexidade dos referidos aspectos, a relação não conclusiva entre o custo da energia elétrica e a produção industrial, somados à escassez de pesquisas à indústria nacional, são razões que corroboram a justificativa de discutir, com maior profundidade, o quanto a produção industrial local é impactada pelo custo da energia elétrica e se isso permite explicar os diferenciais produtivos como também a concentração/aglomeração industrial.

2 ESTRUTURA INDUSTRIAL E CONSUMO DE ENERGIA NOS ESTADOS BRASILEIROS

Existem diferentes explicações sobre estrutura industrial local, que vão desde aspectos locais até de qualificação do capital humano, passando também pelos aspectos estruturais e econômicos. Ainda, nesse conjunto, encontram-se os diferenciais de dotação de recursos naturais, como o mineral. Nesse sentido, regiões relativamente mais abundantes em recursos energéticos, como petróleo, gás natural, carvão ou fontes renováveis, tendem a ter comprovadamente uma oferta mais expressiva de energia (Kruyt, 2016).

No Brasil, a maior parte da energia consumida origina-se de usinas hidrelétricas, as quais têm apresentado seguidos aumentos nos custos da geração e distribuição, em decorrência de uma persistente crise hídrica (Tabosa et al., 2019). Sobre isso, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) apresentou um levantamento das perdas econômicas, nos anos de 2020 e 2021, em função do aumento das tarifas. Esse aumento implica uma redução na renda para o consumo de outros bens, reduzindo a demanda que,

quando somada ao aumento nos custos de produção das indústrias intensivas em energia elétrica, tem pressionado ainda mais para uma diminuição da produção industrial (CNI, 2021).

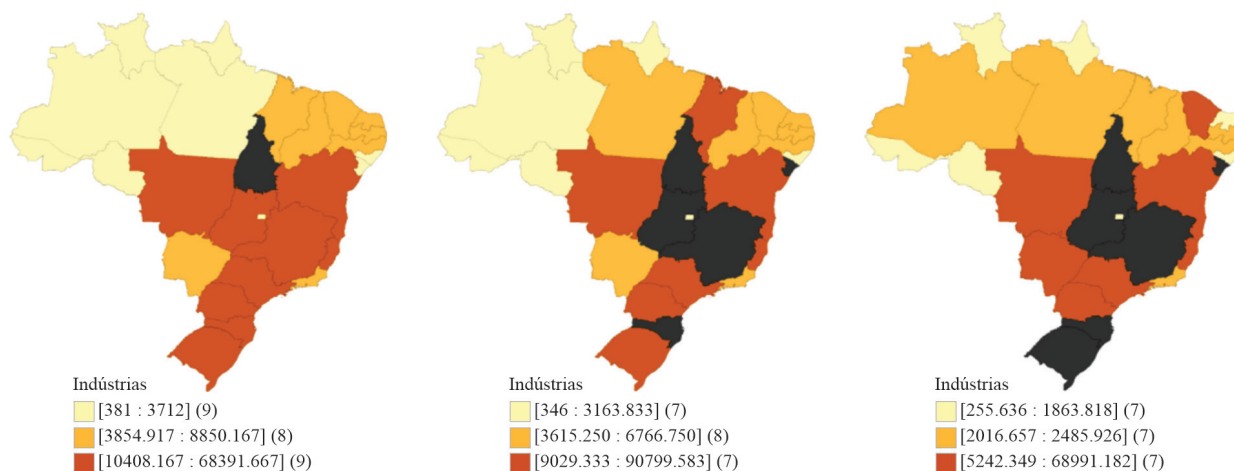
Além da relevância econômica e produtiva, as fontes, a disponibilidade e os custos de energia têm sido potencializados pelas desigualdades regionais, as quais se manifestam de diversas maneiras, como na distribuição de renda, acesso a serviços básicos e oportunidades de emprego (Santos, 2012).

Seguindo essa linha, contextualizando os estados brasileiros quanto à disponibilidade de recursos minerais, há a ocorrência de vantagens comparativas inter-regionais, caso de estados como o Pará, que possui vastas reservas minerais, que o destacam na produção mineral, sem comportar um parque industrial estruturado e diversificado, enquanto estados como São Paulo, que abriga o principal parque industrial do País, diversificado e de alta tecnologia, não dispõe de tais condições (Rocha, 2018).

Outras condições, como a qualidade da infraestrutura, principalmente a de geração energética, como também a logística distributiva, é igualmente importante para determinar a competitividade das indústrias estaduais. Como destacado por Sovacool e Dworkin (2015), regiões com infraestruturas inadequadas podem resultar em acesso dificultado para a energia. Por sua vez, estados com portos eficientes, como o Rio de Janeiro, têm vantagem para exportar produtos para mercados internacionais. Ainda, cita-se a política fiscal, caso de estados que se utilizam de isenções e incentivos fiscais mais expressivos, buscando atrair maiores investimentos (Nascimento, 2009; Fazoli *et al.*, 2018).

Além da produção local, é possível considerar a importação da energia como insumo produtivo. Essa demanda externa pode resultar em uma sazonalidade na geração, decorrente de condições climáticas, como estiagens (Santos; Silva, 2017). Outro fator que pode explicar a demanda por importação da energia seria o surgimento mais frequente de excessos de demanda. Com a expansão industrial, a energia demandada tem superado a capacidade gerada, pressionando a compra externa, conforme discute Rocha (2018). Esse resultado é confirmado ao analisar os estados que mais demandam o insumo energético, caso dos polos industriais do Sudoeste e do Centro-Oeste, além de estados como o Pará e a Bahia, que estão entre os maiores demandantes, em virtude dos maiores custos associados com a expansão industrial (EPE, 2020).

Figura 1 – Número de indústrias consumidoras de energia por estado, para os anos de 2003, 2013 (centro) e 2022



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da ANEEL (2024).

Nota: Nos anos de 2013 e 2022, a cor preta indica os estados que não apresentaram informações disponíveis nos respectivos anos.

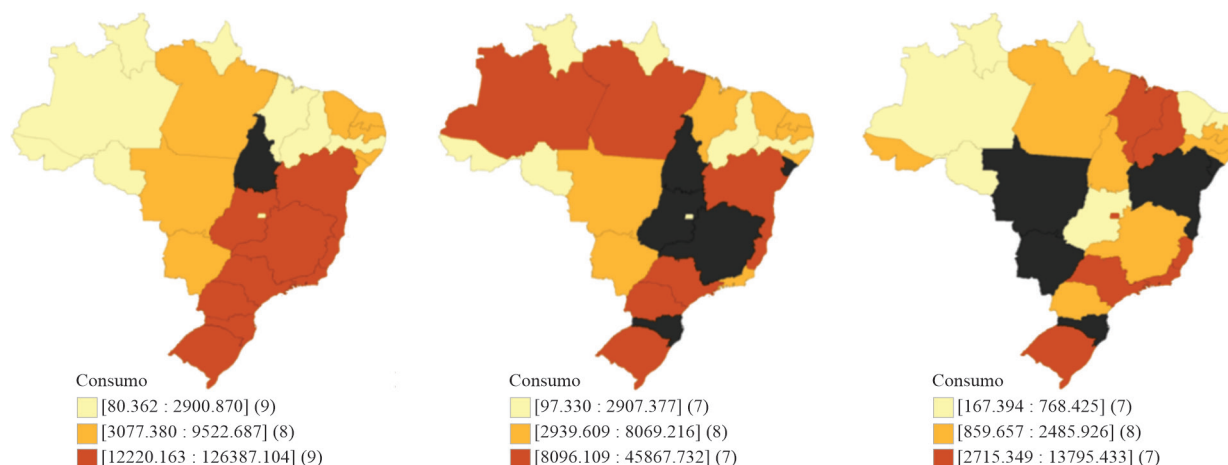
Considerando as condições naturais e estruturais, a produção e a distribuição da energia elétrica para as indústrias estaduais são heterogêneas, cada estado apresenta um dinamismo setorial e produtivo. As regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste possuem o maior número de indústrias consumidoras de energia elétrica (Figura 1), sendo que essa concentração está relacionada ao fato de elas serem polos industriais diversificados e de alta tecnologia. A respeito dessa concentração, Oliveira e Santos (2019) argumentam que a disponibilidade de capital humano qualificado e mais acessível se torna um importante determinante para a indústria.

Ao longo das duas últimas décadas, a partir dos recortes temporais apresentados, evidenciam-se reduzidas mudanças entre os estados, demonstrando que há uma estrutura industrial regional consolidada; exceções ocorreram na Região Nordeste, caso do estado do Maranhão, e na Região Sudeste, no caso de Minas Gerais, em que as indústrias locais cresceram em número, nos anos recentes.

A recessão provocada pela crise sanitária, decorrente da Covid-19, ao ter interrompido a produção industrial, foi um fator intensificador também para a redução da indústria e queda no consumo com energia. Nesse período recente, somente dois estados, a Paraíba e o Rio Grande do Norte, abriram novas indústrias.

Quanto ao consumo mensal industrial de energia elétrica nos estados, considerando os três recortes (Figura 2), observa-se que ocorreu uma pequena redução no número de estados com maiores níveis de consumo, assim, como o número de estados com baixos níveis se elevaram. Nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, os estados com maiores níveis mantiveram seu padrão de consumo, enquanto na Região Nordeste ocorreu um aumento no número de estados com níveis elevados de consumo. Por sua vez, a Região Norte apresenta os menores níveis mensais industriais de consumo de energia elétrica.

Figura 2 – Consumo mensal de energia elétrica por estado para os anos de 2003, 2013 (centro) e 2022, em MWh



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da ANEEL (2024).

Nota: Nos anos de 2013 e 2022, a cor preta indica os estados que não apresentaram informações disponíveis nos respectivos anos.

Essa realidade descreve o cenário de que, em geral, os custos energéticos mantiveram-se elevados ao longo do tempo, característica determinística das desigualdades regionais e industriais, conforme as operações industriais vão se dinamizando e as infraestruturas urbanas desenvolvendo-se (Jones; Kammen, 2014). Outros dois fatores podem explicar as diferenças no consumo da energia: a abundância em insumos locais e as temperaturas com variações mais extremas. Regiões com acesso a recursos energéticos locais, como hidrelétricas, gás natural ou energia solar, podem ter uma fonte de energia mais barata e, portanto, consumir mais (Brennan *et al.*, 2017), enquanto nas indústrias intensivas, nos estados em que a temperatura oscila entre os extremos, durante o inverno e verão, há a necessidade de maiores quantidades de energia tanto para o aquecimento quanto para o resfriamento (Davis; Gertler, 2015).

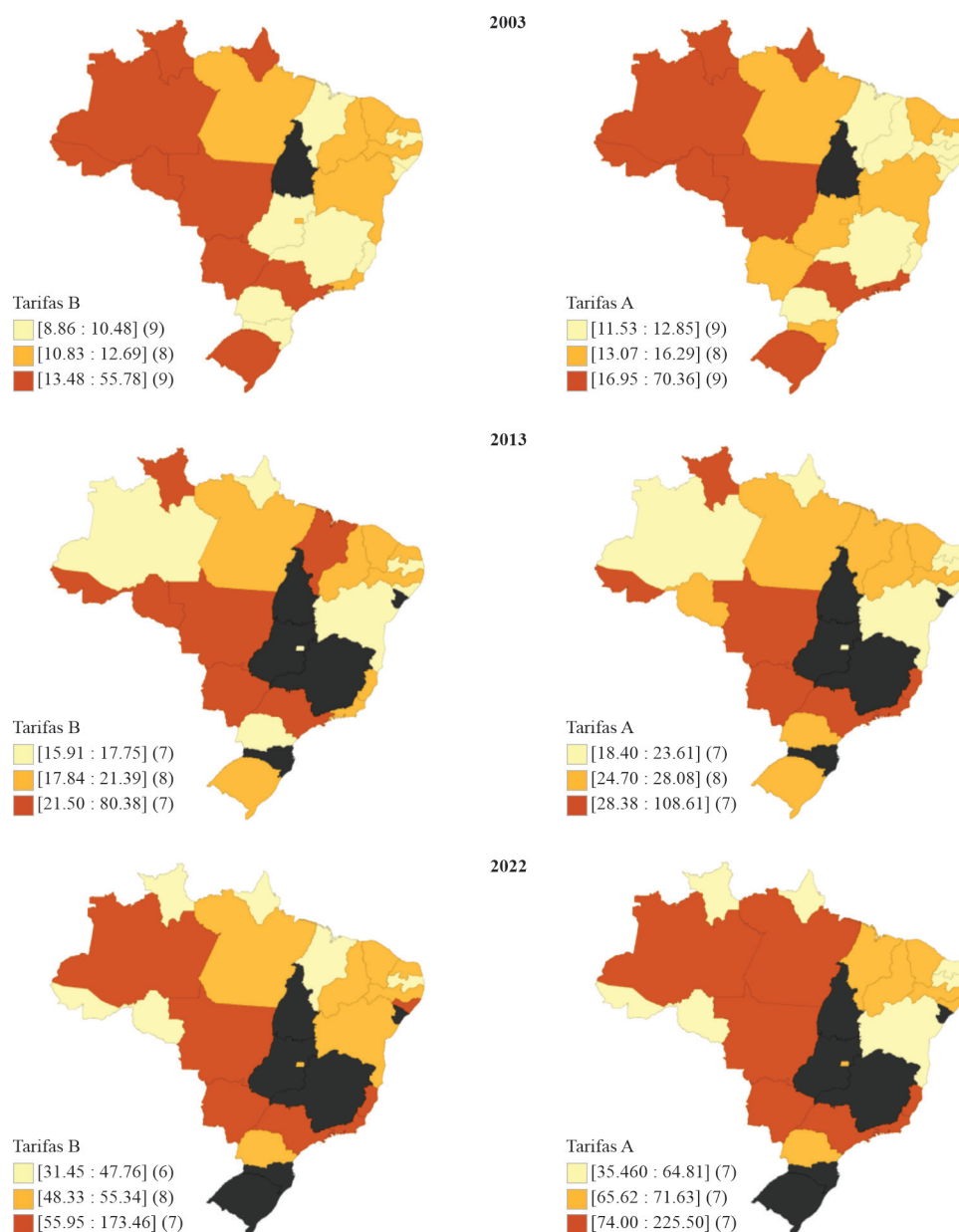
Complementando, são analisadas as tarifas de energia elétrica com e sem os impostos (Figura 3). No caso das tarifas sem impostos, que correspondem aos valores arrecadados e cobrados pelas distribuidoras de energia, de forma geral, verifica-se o aumento nos estados com os maiores custos, os quais estão nas regiões Centro-Oeste e Norte, com exceção de alguns estados, e no estado de São Paulo. Por outro lado, nas regiões Nordeste e Sudeste, observam-se custos mais baixos, com mudanças entre os estados. Já na Região Sul, os custos têm apresentado tendência de queda ao longo dos últimos anos.

Ao considerar a incidência dos tributos, entre os anos de 2003 e 2013, verifica-se um deslocamento dos maiores custos dos estados da Região Norte para os estados das regiões Centro-Oeste e Sudeste. Todavia, em 2022, há um avanço nas tarifas com a predominância dos estados das regiões Norte, Centro-

Oeste e Sudeste com as maiores tarifas. De outro lado, os estados nordestinos mantiveram-se com as menores tarifas, enquanto os da Região Sul apresentaram mudanças com tendência de redução.

Considerando a evolução dos custos tarifários, observa-se uma leve tendência de aumento ao longo dos anos, considerando os recortes analisados. Resultado decorrente da escassez de energia devido à incerteza do regime das chuvas, o que torna esse sistema vulnerável e implica o problema da utilização intertemporal da energia acumulada nos reservatórios, processo que tem aumentado o custo da geração de energia, principalmente desde 2014 (Gadelha; Cerqueira, 2014; Tabosa *et al.*, 2019). Isso implica que, nas classes de consumo com fator de carga maior, aqueles cuja parcela de custos incorridos com geração de energia é maior, houve uma tendência de elevação de tarifas mais acentuada do que nas outras classes, caso das tarifas industriais (IAB, 2020).

Figura 3 – Tarifas estaduais sem (Tarifas B) e com impostos (Tarifas A) para os anos de 2003, 2013 e 2022, em R\$ por MWh consumido



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da ANEEL (2024).

Nota: Nos anos de 2013 e 2022, a cor preta indica os estados que não apresentaram informações disponíveis nos respectivos anos.

Outrossim, apesar dessas circunstâncias regionais, observa-se, no horizonte temporal de quase duas décadas, a diminuição do consumo energético, seguida pelo encolhimento da estrutura industrial, pela

substituição do consumo interno pelo externo em polos industriais, principalmente na Região Centro-Oeste e pela elevação nas despesas com impostos. Nessa evolução, a única exceção foi a Região Norte, onde o consumo da energia cresceu, com destaque para o estado de Roraima.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada está desenvolvida em três subseções. Na primeira é apresentada a construção das variáveis, na segunda estruturada a modelagem econométrica e, na terceira, a detalhada a fonte dos dados.

3.1 Construção dos dados e variáveis

Foram selecionadas variáveis com o objetivo de explicar o impacto dos custos com energia elétrica sobre a produção industrial estadual. Definiu-se como variável dependente a produção industrial dos estados, enquanto o tamanho do mercado (usando como *proxy* a quantidade populacional), as tarifas de energia e os tributos pagos pela energia consumida e quantidade de unidades fornecedoras (usada para capturar o efeito da aglomeração espacial) como variáveis explicativas. As variáveis estão detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis selecionadas e relação com a produção industrial dos estados

Variável	Descrição	Definição	Fonte dos dados	Sinal Esperado	Referências
PIB Industrial	Variável dependente que descreve todo o fluxo em milhões de bens e serviços produzidos na indústria em um ano.	$lnPIBind$	IPEADATA		CNI (2021)
População	Utilizada como variável determinante para o tamanho do mercado consumidor local.	$lnpop$	IBGE	Positivo	Rosenthal e Strange (2004); Krugman (2000); Raiher e Candido (2018)
Tarifa de Energia	Observada a partir das informações contidas nas bases de dados disponibilizadas pela ANEEL, correspondente aos valores arrecadados e cobrados pelas distribuidoras de energia de cada estado, representa a tarifa média em R\$ por MWh consumido de energia sem os impostos, impactando o ritmo produtivo industrial.	$lnarif$	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Negativo	Lee e Chang (2007); Gadelha e Cerqueira (2014); Korsakienea, Tvronavicienea e Sma-liukienea (2014); Ferreira Neto, Corrêa e Perobelli (2016); CNI (2021)
Impostos sobre a energia	É a diferença entre a tarifa de energia sem os impostos e a tarifa de energia com os impostos, obtendo assim apenas os tributos pagos sobre a energia, em R\$, como impostos municipais, federais e principalmente estaduais que incidem sobre a conta de energia das indústrias.	$lnimp$	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Negativo	Balestrin (2015); Giambiagi, Além e Loureiro. (2009)
Número de indústrias	Extraído conjuntamente com as tarifas, apresenta a quantidade total de indústrias em cada estado, necessário para capturar o efeito da aglomeração espacial sobre a produção industrial.	$lnind$	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Positivo	Hoover (1936); Martinez-Galarraga (2012); Raiher e Candido (2018)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No conjunto de variáveis relacionadas à produção industrial dos estados, a população foi utilizada, seguindo a proposição de Krugman (2000), Rosenthal e Strange (2004) e Raiher e Candido (2018), para capturar os ganhos associados ao tamanho do mercado consumidor e a quantidade de fatores produtivos flexíveis disponíveis para a produção industrial. As evidências demonstraram efeitos positivos dos fatores populacionais sobre a produção industrial e a produtividade (Amarante; Silva, 2016). Esse efeito seria consequência direta da concentração de mão de obra mais qualificada (Raiher; Candido, 2018).

Para o custo de energia, que é composto pela tarifa cobrada sobre o uso da energia e os impostos pagos, existem evidências demonstrando uma relação negativa entre o custo de energia e a produção industrial (Korsakienea *et al.*, 2014; Ferreira Neto *et al.*, 2016). Essa relação foi encontrada por Lee e Chang (2007) ao analisarem a relação entre os preços da energia e a produção industrial em Taiwan, como também por Streimikiene e Kasperowicz (2016), os quais, quando analisaram o efeito das políticas energéticas e regulamentações sobre a produção industrial na União Europeia, encontraram que a eficiência energética está relacionada à redução dos custos de energia para impulsionar a produção. Na mesma linha, o Conselho Nacional das Indústrias (2021) evidenciou que os aumentos tarifários geram

prejuízos à indústria, especialmente porque o setor é dependente da geração de energia hidrelétrica.

E sobre a relação dos tributos, Giambiagi et al. (2009) e Balestrin (2015) enfatizam a importância de analisar as diferenças tributárias entre estados, uma vez que essas variações resultam em desestímulos produtivos, especialmente para os estados onde os tributos apresentam alíquotas mais elevadas. A relação negativa da tributação sobre a produção industrial, além do efeito direto sobre o custo de produção, dado que grande parte dos setores industriais são intensivos no consumo de energia elétrica em seus processos produtivos, de modo que um encarecimento da energia eleva significativamente seus custos, provoca efeitos indiretos reduzindo a competitividade industrial brasileira (CNI, 2021).

Complementando, quanto ao número de indústrias, há evidências de que a aglomeração espacial pode ser um fator diferencial para o setor industrial, como já tratado por Marshall (1890), como também encontrado nos trabalhos de Alves e Neto (2011), Martinez-Galarraga (2012) e Sobrinho e Azzoni (2014), e alinhadas com as premissões teóricas da Nova Geografia Econômica discutidas por Krugman (2000). O processo de aglomeração industrial tem sido tratado como um fator importante na expansão produtiva pelos efeitos de transbordo de conhecimento, inovação e tecnologia (Porto; Brito, 2010; Raiher; Candido, 2018), como também pelas diferenças de produtividade industrial (Steingraber; Gonçalves, 2015).

3.2 Modelagem de dados em painel e modelo analítico

Para verificar o efeito do custo da energia elétrica sobre o crescimento industrial dos estados brasileiros, foi utilizado um modelo de dados em painel, conforme encontrado em Baltagi (1995), Wooldridge (2003) e Greene (2012). A escolha por essa modelagem deve-se ao fato de o estudo utilizar os estados como unidades analíticas e as observações em um horizonte temporal definido.

Estruturalmente, a modelagem de dados em painel pode apresentar duas especificações: de efeitos fixos e de efeitos aleatórios. Na primeira, é possível controlar as variáveis que são constantes ao longo do período, mas que se diferenciam entre as unidades de estudo. O “efeito fixo” se dá pelo fato de que o intercepto de cada unidade, apesar de diferentes entre si, não variar com o tempo. O modelo de efeitos fixos apresenta a forma funcional em (1).

$$Y'_{it} = \alpha_i + \beta_i X'_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

em tal modelo, i representa as unidades ou painéis, t o período analisado; α os interceptos, representado como um efeito não observável no modelo, sendo esse um termo fixo no decorrer do período; o termo de erro é representado por ε_{it} ; X representa a matriz de variáveis independentes para cada painel, e β são os coeficientes associados ao efeito causal de cada um sobre a matriz dos valores observados de Y para cada painel.

E no segundo, presume-se que o intercepto das unidades varia ao longo do período. Esse modelo de componentes de erro ou erro composto, conforme ressalta Marques (2000), introduz a heterogeneidade individual no termo de perturbação que poderá ser dividido em duas partes: uma comum, com média nula e variância σ_ε^2 , e uma individual, também com média zero, mas com variância σ_α^2 e que se assumem independentes. O modelo de efeitos aleatórios é estruturado conforme Equação em (2).

$$Y'_{it} = \beta_i X'_{it} + \mu_{it} \text{ com } \mu_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}. \quad (2)$$

Contudo, a natureza dos painéis pode ser desbalanceada ou balanceada, em que os primeiros consistem em painéis com dados incompletos ou faltantes, enquanto os segundos possuem uma quantidade igual de observações (Baltagi, 1995).

A partir dessas definições, na etapa seguinte, faz-se necessário escolher o modelo mais adequado considerando as variáveis utilizadas. Frequentemente, utiliza-se o teste de Hausman, que procura validar ou rejeitar a H_0 que identifica a existência de correlação do erro não observado (efeitos individuais) com as variáveis explicativas. Em caso de não rejeição da hipótese nula, o modelo de efeitos aleatórios é mais adequado; do contrário, emprega-se o modelo de efeitos fixos.

E, para garantir a robustez dos resultados, é preciso avaliar a estrutura dos dados (estacionariedade) e as pressuposições do modelo (autocorrelação e de heterocedasticidade). Para verificar a estrutura das séries temporais, foi aplicado o teste de raiz unitária de Fisher, proposto por Choi (2007), que tem em H_0 a presença de raiz unitária. A escolha desse teste deu-se em função de as séries serem descontinuadas para determinados estados, caso de Santa Catarina, Goiás, Sergipe e Minas Gerais, no que concerne aos dados da energia elétrica. E às análises diagnósticas foram aplicados o teste de autocorrelação de Wooldridge, que tem em H_0 a ausência de autocorrelação, e o teste de Wald para heterocedasticidade, que tem em H_0 evidência favorável à homocedasticidade.

Após as descrições teóricas e as variáveis selecionadas para investigar o impacto da energia, estruturou-se o modelo analítico, conforme Equação em (3).

$$PIBind_{it} = \alpha_1 + \beta_2 \ln imp_{it} + \beta_3 \ln tarif_{it} + \beta_4 \ln pop_{it} + \beta_5 \ln ind_{it} + e_{it} \quad (3)$$

com i representando cada estado e $t = 2003, \dots, 2019$, o período analisado em anos, e sendo o termo de erro, α e β os parâmetros a serem estimados e μ o termo de erro. A variável explicada é o $PIBind$, enquanto β_2 e β_3 são os parâmetros definidos para capturar o efeito dos tributos pagos sobre a energia elétrica e a tarifa de energia sem os tributos (custo de produção), já os demais parâmetros, β_4 e β_5 , denotam os efeitos exercidos pela aglomeração espacial (número de indústrias) e o tamanho do mercado sobre a produção industrial local (população).

Confirmando a necessidade de ajustes para heterocedasticidade e autocorrelação serial, a variância é não constante e a estimativa por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) deixa de ser eficiente, condições essas que fazem necessário aplicar transformações e métodos generalizados. O método dos quadrados generalizados (MQG), ao realizar transformações na matriz de variâncias, promove correções para os referidos pressupostos. Nesse caso, supondo que Ω seja a matriz variância da perturbação ($\varepsilon\varepsilon'$) $m \times m$, a correção para a heterocedasticidade e autocorrelação serial ocorre por meio da multiplicação inversa com as variáveis independentes, resultando no estimador MQG para efeitos fixos (Wooldridge, 2003; Greene, 2012).

3.3 Fontes dos dados

O produto agregado industrial dos estados foi obtido no sítio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipeadata); já os valores das tarifas sem tributos (valor em R\$ da energia consumida em MWh) e dos impostos, em R\$, correspondentes à diferença entre os valores médios das tarifas de energia com e sem tributos para cada estado, como também do número de indústrias, foram obtidos a partir de séries históricas encontradas no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). É válido registrar que muitos valores estavam incompletos, distorcidos ou até destoavam em relação à média, tornando a mediana uma alternativa viável para obter o valor médio das tarifas. E a população foi obtida do sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As variáveis monetárias foram deflacionadas utilizando o Índice Geral de Preços ao Mercado (IGP-M), tendo como base o ano 2019, fornecido pelo Ipeadata, estando incluídas nessa lista a tarifa, o imposto e o PIB industrial. A escolha do IGP-M foi baseada no pressuposto de que esse índice captura a variação dos preços referentes aos produtos industriais pela incorporação do Índice de Preços ao Produtor Amplo (IPA). Ainda, cabe ressaltar que as variáveis foram coletadas em nível, mas posteriormente transformadas em logaritmo, procurando facilitar a análise dos resultados ao visualizar os coeficientes em números percentuais, justamente porque as variáveis estavam em escalas diferentes.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados estão estruturados em três etapas. A primeira apresenta as estatísticas descritivas, a segunda os testes de ajustamento do modelo e a terceira os determinantes da produção industrial regional.

4.1 Estatísticas descritivas

Primeiramente, é feita uma análise da estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo, considerando o horizonte temporal analisado. Na Tabela 1, são apresentadas as medidas descritivas de média, desvio-padrão, mínimos e máximos.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas

Variável	Obs.	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo
<i>PIB_ind</i>	467	14.000.000.000,00	26.500.000.000,00	30.800.000,00	146.000.000.000,00
<i>Pop</i>	465	7.284.546,00	8.508.581,00	357.302,00	45.900.000,00
<i>Nind</i>	408	105.901,00	16.398,00	303,00	91.764,00
<i>Tarif</i>	408	488,72	284,56	243,92	2.567,12
<i>Imp</i>	408	161,05	107,69	0,00	700,70

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Observa-se que as variações às tarifas de energia e impostos foram reduzidas. Comparativamente, as tarifas apresentam média cerca de três vezes maior que os impostos, enquanto o desvio-padrão foi pouco superior a 2,5 vezes. Já os extremos evidenciaram maiores diferenças, com uma relação superior a 3,5 vezes, sugerindo que há estados com custos de produção com diferenças relevantes, resultando em distorções nos valores da energia elétrica. A população, o número de indústrias e o PIB industrial apresentaram desvios elevados, caracterizando a heterogeneidade dos estados e a existência de diferenças regionais produtivas.

Em relação à energia elétrica, essas estatísticas são complementadas pela análise das tarifas e dos impostos por estado, objetivando assim verificar os padrões e diferenças, conforme Tabelas 2 e 3. A média nacional anual foi de R\$ 510,39 por MWh consumido. A maior média nacional foi encontrada em 2006 (R\$ 568,75) e pode ser resultado do aumento do consumo industrial, influenciado pelo alto consumo na Região Sudeste e os apagões no ano anterior ao aumento, em 2005 (EPE, 2007). Já em 2012, as tarifas apresentaram os níveis mais baixos (R\$ 458,47) que, conforme Bernardino (2021), foram ocasionadas por um subsídio implementado no governo Dilma Rousseff, por meio da Medida Provisória 579, posteriormente transformada na Lei N. 12.783/2013 (CNI, 2018).

Quanto ao estado com as menores tarifas médias anuais, observando a série histórica, foi o Amapá, com R\$ 377,22, enquanto o maior valor pertence a São Paulo, em 2007, com média de R\$ 2.567,12 em tarifas por MWh. Ressalta-se que o estado de São Paulo possui um padrão tarifário divergente dos demais estados, com valores superiores a aproximadamente 3,5 vezes a tarifa do segundo estado. Por fim, em termos regionais, os estados do Norte, exceto o Amapá, apresentam os valores tarifários mais elevados comparativamente às demais regiões, enquanto os estados da Região Sul, os menores.

Considerando os impostos sobre a energia elétrica (Tabela 3), nos recortes apresentados, a média foi de R\$ 172,07, com os tributos dos estados variando entre R\$ 75,07 e R\$ 616,56. Todavia, se excluir o estado de São Paulo, cujo valor pago em tributos foi superior a 2,2 vezes o pago nos demais estados, a variação média ficou entre R\$ 75,07 (Amapá) e R\$ 278,51 (Rio de Janeiro). Observa-se também que, ao longo dos anos, os impostos demonstraram uma tendência de crescimento, com o ano de 2019 apresentando a maior média, de R\$ 193,47, enquanto a menor média ocorreu no ano de 2003, com R\$120,76, em valores nominais. Esse crescimento, conforme CNI (2018), é decorrente dos impostos e encargos setoriais crescentes associados ao modelo regulatório adotado.

Conquanto os maiores impostos também sejam do estado de São Paulo, as tarifas mais elevadas encontram-se na Região Norte, em estados como o Acre, Roraima, Rondônia, Amazonas e o Tocantins, configurando-se entre os dez estados em que a tarifa é a mais alta, juntamente com o Rio de Janeiro, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e o Rio Grande do Sul. Por outro lado, as menores tarifas encontram-se no estado amazonense, possivelmente influenciadas pelas isenções tributárias que incidem sobre a Zona Franca de Manaus.

Tabela 2 – Tarifas em R\$ por MWh consumido entre 2003 e 2019 por estado

Estado	2003	2006	2009	2012	2015	2019	Média
SP	1725.76	1881.86	1895.05	1642.79	1937.18	1777.72	1810.06
AC	490.47	674.79	674.40	521.80	469.44	456.44	547.89
RR	490.05	641.03	662.17	478.35	359.78	552.13	530.58
RJ	392.45	568.33	544.25	413.80	540.77	634.31	515.65
MT	454.99	545.76	501.69	485.98	496.60	523.09	501.35
TC	465.70	579.11	536.64	440.76	465.22	505.21	498.77
RO	457.35	551.61	542.53	437.14	484.97	490.68	494.05
AM	485.99	595.65	549.27	419.21	304.09	573.71	487.99
MS	417.02	567.44	480.04	447.94	478.88	512.28	483.93
RS	463.90	519.83	491.12	444.43	500.88	440.23	476.73
MA	423.56	502.54	506.26	447.77	435.25	533.28	474.78
ES	299.77	454.40	470.90	394.21	508.26	533.11	443.44
PE	361.30	496.90	400.17	388.00	454.12	511.27	435.29
PI	354.17	498.71	397.87	390.10	452.50	473.22	427.76
DF	343.95	521.94	336.51	367.89	463.09	516.08	424.91
PA	379.74	439.47	393.73	372.39	419.96	529.92	422.53
CE	393.42	493.12	397.34	367.05	429.54	417.37	416.31
BA	377.89	505.66	385.65	395.92	356.04	438.11	409.88
PR	347.30	405.71	346.34	324.81	508.20	489.97	403.72
AL	320.46	429.49	405.63	329.37	421.18	463.54	394.94
PB	291.70	435.03	415.18	352.96	344.42	452.43	381.95
RN	335.14	411.03	364.71	370.11	356.35	437.40	379.12
AP	489.47	361.84	371.16	312.14	348.76	379.92	377.22
Média	459,20	568,75	524,72	458,47	501,54	549,63	510,39

Fonte: Resultado da pesquisa (2023).

Nota: Os estados de SC, MG, GO e SE foram excluídos por apresentarem séries descontinuadas.

A diferença dos valores da Região Norte decorre principalmente de dois fatores intrínsecos às características da Região: (i) custos mais elevados de distribuição na Região que apresenta menor densidade demográfica; e (ii) maior índice de Perdas Não Técnicas (furtos e fraudes de energia) (IAB, 2020).

Por fim, analisando conjuntamente a tarifa e os impostos pagos sobre a energia elétrica consumida pelo setor industrial, como uma medida aproximada da tributação, a média da relação para os estados foi de 33,71%. Comparando com os estados com maiores e menores custos, verificam-se cenários distintos, enquanto em São Paulo a média foi de 34,06%, pouco superior à média nacional, no Amapá a média foi de 20,00%, aproximadamente 40% menor que a média do País. Esses resultados demonstram que tanto a tarifa quanto a política tributária estadual impactam os custos da energia elétrica, determinando, assim, custos de produção industriais igualmente distintos entre os estados.

Tabela 3 – Impostos em R\$ cobrados sobre a tarifa por estado

Estado	2003	2006	2009	2012	2015	2019	Média
SP	451.02	665.20	687.61	581.68	672.85	641.01	616.56
RJ	169.64	242.71	316.75	222.25	356.31	363.40	278.51
MT	196.75	304.65	278.82	234.00	257.81	246.62	253.11
AC	163.54	274.69	296.03	210.91	185.56	177.73	218.07
PR	142.72	203.10	197.03	133.87	242.43	265.44	197.43
CE	142.51	211.39	192.20	190.49	218.34	191.51	191.07
ES	84.61	207.07	211.46	176.90	242.29	222.48	190.80
PE	36.34	192.33	182.36	168.33	198.25	238.43	169.34
PA	120.31	163.86	135.94	131.63	182.71	242.93	162.89
PB	73.41	207.01	168.69	148.25	170.46	187.79	159.27
PI	33.27	196.91	178.69	166.29	194.10	151.71	153.49
MS	86.91	169.11	135.39	134.31	160.24	149.86	139.30
DF	99.78	163.28	105.62	118.36	155.68	179.94	137.11
MA	66.72	136.22	158.84	139.73	148.45	171.08	136.84
RR	100.37	163.73	183.83	126.14	86.65	127.26	131.33
RS	95.40	167.14	150.14	120.88	134.91	109.02	129.58
TC	156.60	165.60	129.08	77.65	77.04	140.43	124.40
RO	94.99	142.96	122.30	113.44	116.51	114.14	117.39
RN	69.28	127.52	105.44	110.11	119.33	137.14	111.47
BA	57.37	126.33	87.74	92.53	101.36	114.22	96.59
AP	107.83	76.09	105.35	66.28	77.07	99.00	88.60
AL	66.12	89.04	79.23	57.14	63.80	121.40	79.46
AM	161.98	0.00	100.42	77.76	53.02	57.24	75.07
Média	120,76	191,13	187,35	156,48	183,27	193,47	172,07

Fonte: Resultado da pesquisa (2023).

Nota: Os estados de SC, MG, GO e SE foram excluídos por apresentarem séries descontinuadas.

4.2 Testes estatísticos e de diagnóstico

A análise do impacto do custo da energia elétrica sobre a produção industrial estadual inicia-se com a identificação das propriedades das séries utilizadas. A estacionariedade foi avaliada pelo teste de Fisher (Tabela 4). Verifica-se que todas as séries, exceto a do número de indústrias, são estacionárias, pela rejeição da hipótese nula de não estacionariedade (presença de raiz unitária); portanto, os valores estão constantes em torno da média no horizonte temporal analisado. A raiz unitária da variável correspondente ao número de indústrias foi corrigida por meio da aplicação de uma diferenciação.

Tabela 4 – Resultados do teste de estacionariedade de Fisher

Variável	Estatística	p-valor
<i>LnPIBind</i>	149.8321	0.0000***
<i>Lnpop</i>	110.9008	0.0000***
<i>Lnind</i>	55.5887	0.3412
<i>D.lnind</i>	191.7027	0.0000***
<i>Lnimp</i>	90.8577	0.0007***
<i>Lntarif</i>	76.1407	0.0162**

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Notas: ***, ** e * indicam a significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Seguindo, foi aplicado o teste de Hausman para identificar a adequação do modelo, o qual indicou que o modelo de efeitos fixos é mais adequado, pela rejeição da hipótese nula (Tabela 5). E, quanto aos testes de diagnóstico de heterocedasticidade e autocorrelação, o resultado do teste Wald indica a rejeição da hipótese da distribuição normal do erro, indicando a presença de erros heterocedásticos, o que inviabiliza a estimação dos modelos padronizados onde os pesos atribuídos às variações para cada valor do

regressor são iguais, sendo mais eficaz a alternativa do método dos mínimos quadrados generalizados (MQG). Igualmente, o resultado do teste de Wooldridge indica a rejeição da hipótese nula, o que não permite afastar a hipótese de que os resíduos possuem algum grau de correlação serial, de forma que se faz necessário aplicar modelos considerando correções para autocorrelação serial.

Considerando a estrutura das variáveis e os problemas de autocorrelação serial e heterocedasticidade, são necessários ajustes. Para tanto, estimou-se o modelo de dados em painel com efeitos fixos considerando a correção por meio do método dos quadrados generalizados (MQG) e ajuste para autocorrelação de primeira ordem AR(1) nos painéis.

Tabela 5 – Resultados dos testes de Wooldridge, Wald e Hausman

Teste	Estatística	p-valor
<i>Wooldridge</i>	69.204	0.000***
<i>Wald</i>	160000.00	0.000***
<i>Hausman</i>	15.85	0.0032***

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Notas: ***, ** e * indicam a significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

4.3 Determinantes da produção industrial

Objetivando compreender a dinâmica da produção industrial, apresentam-se as estimativas para o modelo definido na Equação em (3) (Tabela 6). As variáveis estão na forma logarítmica, permitindo analisar as estimativas como elasticidades e correspondem ao modelo ajustado para autocorrelação e heterocedasticidade. Os resultados possibilitam analisar alguns aspectos quanto à aglomeração das indústrias, o tamanho do mercado, os tributos e a variável alvo, o custo da energia.

Tabela 6 – Resultado das estimativas do modelo fixo por meio de mínimos quadrados generalizados à produção industrial dos estados

Variável	Coefficiente	Prob.
<i>lnpop</i>	1.749209 (0.0448625)	0.000***
<i>lnind</i>	0.1917078 (0.0674245)	0.004***
<i>lnarif</i>	-0.1034732 (0.0451075)	0.022**
<i>lnimp</i>	0.0150673 (0.0299989)	0.615
<i>cons</i>	-4.19395 (0.6907517)	0.000***

Fonte: Resultados da pesquisa (2023).

Notas: ***, ** e * indicam a significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Os resultados estão, em sua maioria, coerentes com as relações teóricas esperadas e possuem significância estatística, demonstrando que o modelo apresentou ajuste adequado. Quanto ao tamanho de mercado, a relação mostrou-se positiva e altamente significativa, com o crescimento populacional mostrando-se elástico ao produto industrial – 1% de aumento na população eleva em 1,02% aproximadamente o produto industrial –, gerando um efeito multiplicador na economia, de acordo com o que é abordado em Krugman (2000), Rosenthal e Strange (2004) e Raiher e Candido (2018).

Esse crescimento do mercado consumidor também sinaliza os retornos crescentes existentes no setor industrial, dado que os fatores móveis, como o trabalho, estão mais amplamente disponíveis. Ademais, o maior mercado consumidor tende a ampliar a produtividade industrial, uma vez que o potencial em termos de compradores se torna maior em comparação com mercados menores onde tal externalidade positiva não está presente. Isso permite explicar, ainda, que, em certa medida, como os fluxos imigratórios crescentes nos estados localizados na Região Sudeste, como São Paulo, expandiram o produto industrial. Por outro lado, os fluxos emigratórios nos estados nordestinos sinalizam sobre a possível perda de potencial produtivo com a redução do mercado consumidor (Golgher, 2004).

Para o custo da energia elétrica, que corresponde à soma de todos os componentes do processo industrial de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização de energia elétrica, excluídos os tributos, obteve-se relação negativa e estatisticamente significativa de 0,10% na produção

industrial para aumento de 1% no custo do insumo. Nesses termos, a hipótese de que as tarifas (Itarif) impõem custos adicionais à produção industrial dos estados não pode ser descartada, confirmando os resultados de que a oferta de energia é fundamental no processo produtivo, conforme já destacado por Chang e Lee (2007), Santos (2012), Gadelha e Cerqueira (2014) e CNI (2021).

Esse resultado também informa potencialmente os riscos associados às altas tarifas registradas durante o período analisado, principalmente, para os estados da Região Norte, afastando, assim, o potencial desenvolvimento industrial daquela região. Ressalta-se que, embora as indústrias tenham crescido em número, a Região ainda é a que concentra o menor parque industrial do País, ao mesmo tempo em que enfrentou os maiores custos tarifários ao longo do período 2003-2019. Por outro lado, em contraste, nos estados nordestinos, onde as tarifas estão entre as menores, observa-se o crescimento no parque industrial (ANEEL, 2023).

Ainda, por representar um crescimento menor que o unitário, o resultado indica que a produção industrial é inelástica ou pouco sensível às mudanças nas tarifas, em linha com achados de Irffi et al. (2009) e Tabosa et al. (2019), resultado explicado pela alta necessidade (ou dependência) do consumo da energia elétrica para funcionamento das máquinas e equipamentos industriais, sendo um custo fixo impossível de evadir; assim, o setor elétrico enfrenta menores desafios com o aumento tarifário. Também, esse resultado reforça o argumento da alta dependência do setor industrial de energia elétrica, o que torna o setor suscetível às variações desta fonte energética.

Nesse processo, ainda cabe destacar os efeitos dos choques na oferta, os quais, quando são propagados, caso da elevação dos custos e/ou alíquotas em virtude de efeitos sazonais da afluência hídrica (alterações no volume pluviométrico), levam à necessidade de construir reservatórios com grande capacidade acumulativa, deixando o sistema de geração elétrica menos vulnerável às situações de escassez energética.

Isso resulta em efeitos adversos, impactando a redução na renda, o racionamento do consumo elétrico e, conseqüentemente, a retração do produto industrial (Gadelha; Cerqueira, 2014). Essa retração pode ser explicada ao analisar o aumento nos custos operacionais em resposta às variações no custo energético, resultando na redução das margens lucrativas, impacto ainda mais pronunciado quando considerado que existe um ambiente competitivo entre as regiões (Auffhammer; Wolfram, 2014).

De outro modo, a estimação dos tributos cobrados sobre a energia (limp) divergiu da relação esperada e não foi significativa. Embora a literatura internacional informe sobre as potenciais perdas produtivas para a indústria com as mudanças nos tributos, como encontrado em Barro (1997), destacam-se duas possíveis explicações para esse resultado. Uma delas é encontrada em Giambiagi et al. (2009), e trata da complexidade tributária, em que o ICMS assume uma natureza seletiva, variando conforme o bem industrial considerado, afetando a análise generalista do produto industrial. A outra rescinde sobre as isenções tributárias destinadas ao setor industrial, as quais acabam mitigando os impactos tributários sobre o produto industrial, conforme argumenta Balestrin (2015).

Por fim, o número de indústrias existentes em cada estado, utilizado para capturar o efeito da aglomeração espacial sobre a produção industrial, apresentou relação positiva e significativa, conforme esperado, em linha com os achados de Alves e Neto (2011) e Sobrinho e Azzoni (2014). Para cada aumento de 1% no número de indústrias, a produção do setor se eleva em aproximadamente 0,19%, demonstrando uma relação inelástica.

Logo, nessas condições, o crescimento em quantidade torna o setor mais competitivo, como também estimula o produto industrial decorrente, uma vez que haverá mais conhecimento novo a ser compartilhado e aprendido entre os aglomerados industriais, além de menores custos com a realização do transporte dos bens industriais entre as unidades produtoras. Seguindo esse argumento, os grandes parques industriais localizados entre as regiões Sudeste e Sul tendem a ser favorecidos pela aglomeração espacial, não somente por possibilitar um maior compartilhamento de conhecimento entre as indústrias, mas também porque são economizadoras de custos associados ao transporte.

Em síntese, o custo da energia constitui um fator importante para o complexo industrial, afetando dire-

tamente o seu nível de produção e produtividade, como também um limitante do processo de crescimento econômico, em caso de racionamento Stern (2011). Contudo, os efeitos redutores não são lineares, dado que há importante dispersão espacial nas tarifas de energia elétrica, o que, além de contribuir para a redução do produto econômico, aumenta as desigualdades regionais, conforme discutido por Santos (2012).

Esse efeito também pode estar relacionado à alta dependência em geração hidrelétrica e uso intensivo da energia para o processo produtivo. No caso das variáveis tamanho populacional (população) e aglomeração espacial (número de indústrias), foi evidenciada a relação com o produto industrial, demonstrando um efeito multiplicador para o primeiro e um aumento marginal para o segundo. Conquanto não tenha sido encontrada significância para os tributos, percebem-se ainda diferenças entre os estados, as quais estão associadas à política fiscal local, muitas vezes associada ao próprio custo tarifário, quando subsidiado o uso de energias alternativas, como abordado por Bovenberg (2008), ou características propriamente locais, conforme Oates (1972).

5 CONCLUSÕES

A relação entre o custo da energia elétrica e a produção industrial estadual, no período de 2003 a 2019, consistiu no objetivo central e foi avaliada a partir de um modelo de dados em painel com efeitos fixos, estimado por método de mínimos quadrados generalizados. As relações obtidas possibilitaram atender ao objetivo proposto ao corroborar as hipóteses teóricas e empíricas à relação custo da energia elétrica e produção industrial, conquanto os resultados da tributação tenham divergido do esperado.

Os resultados evidenciaram que o custo da energia elétrica desempenha um papel crítico na produção industrial e, por extensão, na atividade econômica, distorcendo os custos de produção e impactando a produtividade industrial. Essa relação se torna ainda mais evidente quando se consideram os custos tarifários, os quais potencializam as distorções provocadas pela matriz energética, que tem na energia elétrica, a qual exige custos mais elevados, a principal fonte. Situação que é aprofundada pelo sistema tributário vigente, conquanto não tenha demonstrado significância, tende a agravar as diferenças regionais, com as alíquotas sobre a energia elétrica, resultando em perdas importantes à produção da indústria.

De forma complementar, o tamanho de mercado e a aglomeração espacial favorecem positivamente a produção industrial local. O efeito multiplicador para o tamanho do mercado, conforme cresce a população estadual, demonstra o potencial aumento produtivo quando ocorrem migrações pelo aumento do mercado consumidor. E, para o efeito da aglomeração espacial da indústria, a concentração também apresentou um efeito marginal sobre o produto industrial. O que sugere que, em estados com maior número de indústrias, como aqueles localizados entre as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, o surgimento de uma nova indústria pode contribuir com a produção das demais indústrias já instaladas.

Essas evidências têm implicações importantes para a política energética e econômica. A gestão adequada dos custos e da oferta de energia elétrica é fundamental para promover o crescimento econômico sustentado e o uso eficiente dos recursos. Além disso, cabe destacar a necessidade de considerar as especificidades regionais, uma vez que diferentes estados têm padrões de consumo de energia distintos, como também diferentes estruturas tributárias e dotações fatoriais. Essa heterogeneidade quanto à oferta energética ocasionou diferentes perdas quando avaliados os períodos em que o preço da energia se alterou significativamente, sendo os locais onde a energia é mais cara à indústria os mais afetados.

Essa situação é agravada também pelas condições climáticas e hídricas e estruturais dos estados, o que, necessariamente, pressiona os custos tarifários. Para mitigar o impacto desse reajuste, fazem-se necessárias políticas para o setor elétrico, seja subsidiando o uso de energias alternativas ou fornecendo infraestrutura geracional adequada para gerar energia destinada ao uso industrial. Ainda, a diversificação da matriz energética é condição necessária para reduzir a dependência hidroelétrica, assim evitando uma possível escassez hídrica e o desfavorecimento dos estados em regiões com menor capacidade de armazenamento.

Por fim, torna-se latente que a indústria avaliará os impactos causados pelas variações no custo ta-

rifário, alocando recursos e promovendo investimentos em locais cujo custo-benefício é mais elevado. Assim sendo, o setor industrial poderá minimizar seu custo com as decisões do setor elétrico relacionadas à tarifa energética e maximizar seu potencial produtivo, como também avaliará a instalação de suas operações em um local onde a população e o número de indústrias sejam maiores, sem, obviamente, desconsiderar as vantagens locacionais.

A despeito de os resultados evidenciarem relações consistentes, a não inclusão de variáveis para analisar o produto industrial, como capital humano e físico ou infraestrutura, além de lacunas nos dados de alguns estados, limitam conclusões definitivas, restando, assim, oportunidades para futuras pesquisas, que ampliem as evidências sobre os impactos do custo energético sobre a produção industrial dos estados e sirvam de arcabouço para o desenvolvimento de políticas de incentivo ao setor produtivo nas diferentes regiões.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório dos dados de receita, mercado de energia e número de unidades consumidoras (SAMP)**. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/cativo#!>. Acesso em: 5 dez. 2023.

ALVES, J. S.; NETO, R. M. S. Impacto das externalidades de aglomeração no crescimento do emprego: o caso do cluster de confecções em Pernambuco. **Revista Econômica do Nordeste**, n. 42, v. 2, p. 333-350, 2011.

AMARANTE, P.; SILVA, M. Economias de aglomeração nas atividades econômicas dos municípios brasileiros nos anos de 2000 e 2009: evidências a partir de equações salariais. **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, v. 16, n. 1, p. 25-51, 2016.

AUFFHAMMER, M.; WOLFRAM, C. Powering Up China: Income Distributions and Residential Electricity Consumption. **American Economic Review**, v. 104, n. 5, p. 575-580, 2014.

BALESTRIN, A. Políticas de Desenvolvimento Regional e Competitividade Inter-Regional no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 6, p. 1465-1489, 2015.

BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 8 ed. Nova Iorque, 1995.

BARBOSA, P. A. M.; MATTOS, L. B. Relação Entre Consumo de Energia Elétrica e Crescimento Econômico no Brasil: Uma Análise a Nível Setorial. In: XXIV ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. Florianópolis. **Anais...**, 2021, Florianópolis - SC. Disponível em: https://www.anpec.org.br/sul/2021/submissao/files_/i2-4cdb96673194f50a0e68b021b119b3fa.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

BARRO, R. J. **Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study**. MIT Press, 1997.

BERNARDINO, F. **Tomando partido: A briga de Dilma Rousseff (2011-2016) pela redução do preço da energia à indústria**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://sdpsc.fllch.usp.br/sites/sdpsc.fllch.usp.br/files/inline-files/Fellipe%20Bernardino%20-%20Tomando%20Partido%20-%20A%20briga%20de%20Dilma%20Rousseff%20pela%20redu%20%C3%A7%C3%A3o%20do%20pre%20%C3%A7o%20da%20energia%20%C3%A0%20ind%20%C3%BAstria%20-%20Sem%20A%20rio%20Discente%20-%20DCP%20USP%20-%20Fellipe%20Bernardino.pdf>. Acesso em: 14 out. 2023.

BOVENBERG, A. L. Green tax reforms and the double dividend: an updated reader's guide. **International Tax and Public Finance**, v. 15, n. 5, p. 563-601, 2008.

BRANDÃO, L. G. L.; DIVINO, J. A. Uma análise da dinâmica do setor elétrico brasileiro utilizando VAR em painel. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, p. 2, p. 47-64, 2020.

BRENNAN, M. et al. The Local and Global Benefits of Wind and Solar Energy in the United States. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 44-49, 2017.

CHOI, I. Unit root tests for panel data. **Journal of international money and Finance**, v. 20, n. 2, p. 249-272, 2007.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Energia Elétrica: custos e competitividade**. Brasília: CNI. 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/a2/d9a29a77-b3a9-4377-b9fd-81946023158d/energia_eletrica_web.pdf. Acesso em: 14 jan. 2024.

_____. **Impacto do aumento econômico do aumento no preço da energia**. Brasília: CNI. 2021. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2021/11/Impacto-economico-prec%CC%A7o-energia-cni.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.

DAI, L.; JIA, R.; WANG, X. Relationship between Economic Growth and Energy Consumption from the Perspective of Sustainable Development. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 20, p. 2022:6884273. <https://doi.org/10.1155/2022/6884273>. Retraction in: **J Environ Public Health**. 2023 Jun 28; 2023:9847034. PMID: 35910754; PMCID: PMC9328951.

DAVIS, L. W.; GERTLER, P. J. Contribution of Air Conditioning Adoption to Future Energy Use under Global Warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 19, p. 5962-5967, 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Boletim de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**, 2020.

FAZOLI, J. C. *et al.* Incentivos fiscais como política pública de desenvolvimento industrial: uma análise empírica dos efeitos econômicos da concessão de crédito presumido de ICMS para as indústrias têxteis do estado de Santa Catarina. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 17, n. 51, p. 59-74, 2018.

FERREIRA NETO, A. B.; CORREA, W. L. R.; PEROBELLI, F. S. Consumo de Energia e Crescimento Econômico: uma Análise do Brasil no período 1970-2009. **Análise Econômica**, Porto Alegre, v. 34, n. 65, p. 181-204, 2016.

GADELHA, S. R. B.; CERQUEIRA, R. M. G. Consumo de eletricidade e crescimento econômico no Brasil, 1952-2010: Uma análise de causalidade. **Revista Faz Ciência**, v. 16, n. 24, p. 11-49, 2014.

GHALI, K. H.; EL-SAKKA, M. I. T. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. **Energy Economics**, v. 26, p. 225-238, 2004.

- GIAMBIAGI, F.; ALÉM, A. C.; LOUREIRO, P. R. **Finanças Públicas: Teoria e Prática no Brasil**. Editora Campus, 2009.
- GOLGHER, A. B. *et al.* **Fundamentos da migração**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2004.
- GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. 7. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2012.
- HOOVER, E. M. The measurement of industrial localization. **The Review of Economic Statistics**, v. 18, n. 4, p. 162-171, 1936.
- IKEDA, Y. Power Grid with 100% Renewable Energy for Small Island Developing States. **Evolutionary and Institutional Economics Review**, v. 17, p. 183-195, 2020.
- IAB - INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Evolução das tarifas de energia elétrica e a formulação de políticas públicas**. White Paper, 22. 2020. Disponível em: <https://acendebrasil.com.br/estudo/white-paper-22-evolucao-das-tarifas-de-energia-eletrica-e-a-formulacao-de-politicas-p-blicas/>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata: dados macroeconômicos**. 2023. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- IRFFI, G. CASTELAR, I.; SIQUEIRA, M. L.; LINHARES, F. C. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 69-98, 2009.
- JONES, C.; KAMMEN, D. M. Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for US Households and Communities. **Environmental Science & Technology**, v. 48, n. 7, p. 3849-3856, 2014.
- KORSAKIENEA, R.; TVARONAVICIENEA, M.; SMALIUKIENEA, R. Impact of energy prices on industrial sector development and export: Lithuania in the context of Baltic States. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 110, p. 461-469, 2014.
- KRAFT, J.; KRAFT, A. On the relationship between energy and GNP. **Journal Energy Development**, v. 3, n. 2, p. 401-403, 1978.
- KRUGMAN, P. Where in the world is the 'new economic geography'. **The Oxford handbook of economic geography**, v. 23, p. 49-60, 2000.
- KRUYT, B. Resource Availability Limits on the Deployment of Renewable Energy Sources: the Case of Bioenergy. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 409-421, 2016.
- LEE, C. C.; CHANG, C. P. Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. **Resource and Energy Economics**, v. 29, n. 3, p. 212-220, 2007.
- _____. The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. **Energy**, v. 32, n. 12, p. 2282-2294, 2007.
- LI, R.; LEUNG, G. C. K. The relationship between energy prices, economic growth and renewable energy consumption: Evidence from Europe. **Energy Reports**, v. 7, p. 1712-1719, 2021.
- MARQUES, L. D. **Modelos dinâmicos com dados em painel: revisão da literatura**. Centro de Estudos Macroeconômicos e Previsão, Faculdade de Economia do Porto. 2000. Disponível em: <http://wps.fep.up.pt/wps/wp100.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2023.

- MARSHALL, A. **Princípios de economia: tratado introdutório**. São Paulo: Abril Cultural, n. 198, v. 2, 1890.
- MARTINEZ-GALARRAGA, J. The determinants of industrial location in Spain, 1856–1929. **Explorations in Economic History**, v. 49, n. 2, p. 255-275, 2012.
- NASCIMENTO, S. P. Guerra fiscal: uma análise quantitativa para estados participantes e não participantes. **Revista Economia**, v. 10, n. 2, p. 211-237, 2009.
- OATES, W. E. **Fiscal Federalism**. Harcourt Brace Jovanovich, 1972.
- OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, M. J. Energy supply disruptions and industrial production: New evidence for Brazil using daily data. **Energy Economics**, v. 84, p. 104513, 2019.
- PORTO, E. C.; BRITO, L. A. L. Aglomeração industrial e seu efeito na taxa de crescimento das empresas brasileiras. **REAd**, Ed. 66, v. 16, n. 2, p. 446-480, 2010.
- RAIHER, A. P.; CANDIDO, M. J. Aglomerações produtivas da região sul do Brasil e sua relação com a produtividade industrial. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 12, n. 1, p. 17-34, 2018.
- ROCHA, L. **Recursos Minerais e o Desenvolvimento Econômico do Estado do Pará**. Anais do Encontro Nacional de Economia, 2018. Disponível em: <https://en.anpec.org.br/previous-editions.php?r=encontro-2018>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- ROSENTHAL, S. S.; STRANGE W. C. Evidence on the Nature and Sources of Agglomeration Economies. In: HENDERSON, J. V; THISSE, J. F. (Eds.). **Handbook of Regional and Urban Economics**. Elsevier, v. 4, p. 2119-2171, 2004.
- SANTOS, G. F. Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira. **Revista do BNDES**, v. 37, p. 335-376, 2012.
- SANTOS, P. H.; SILVA, M. A. Energy subsidies and industrial competitiveness: Empirical evidence from a panel of manufacturing industries. **Energy Economics**, v. 68, p. 282-291, 2017.
- SOBRINHO, E. M. G.; AZZONI, C. R. **Agglomerações industriais relevantes no Brasil**. Núcleo de Economia Regional e Urbana (NEREUS), 2014. Disponível em: http://www.usp.br/nereus/wp-content/uploads/TD_Nereus_07_2014.pdf. Acesso em: 04 dez. 2023.
- SOVACOOOL, B. K.; DWORKIN, M. H. Energy Justice: Conceptual Insights and Practical Applications. **Applied Energy**, v. 142, p. 435-444, 2015.
- STEINGRABER, R.; GONÇALVES, F. O. A influência da aglomeração e da concentração da indústria sobre a produtividade total dos fatores das empresas industriais brasileiras. **Nova Economia**, v. 25, n. 2, p. 349-368, 2015.
- STERN, D. I. The role of energy in economic growth. **Ecological Economics Reviews**, v. 1219, p. 6-51, 2011.
- STREMIKIENE, D.; KASPEROWICZ, R. Review of economic growth and energy consumption: A panel cointegration analysis for EU countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 1545-1549, 2016.
- TABOSA, F. J. S. *et al.* Análise da demanda por energia elétrica no meio rural do Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 52, n. 1, p. 149-188, 2019.
- WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of cross section and panel data**. 5 ed. Massachusetts: The MIT Press, 2003.

SOLAR-ENERGY-BASED TECHNOLOGIES FOR FAMILY AGROINDUSTRIES: APPLICATIONS BEYOND NATURAL PROCESSES IN PIAUÍ, BRAZIL

Tecnologias com energia solar para agroindústrias familiares: aplicações além dos processos naturais no Piauí-Brasil

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva

Electrical Engineer. PhD in Development and Environment. Federal Institute of Education, Science, and Technology of Piauí, Teresina Central Campus, Department of Industry, Safety, and Cultural Production, Praça da Liberdade, 1597, Bairro Centro, Teresina-PI, CEP: 64000-040. osvaldo.augusto@ifpi.edu.br

Eugenia Cornils Monteiro da Silva

Production Engineer. PhD in Mechanical Sciences. University of Brasília, Faculty of Technology, University of Brasília. Asa Norte, Brasília. CEP: 70.910-900. eugeniicornils@gmail.com

Raimundo Batista dos Santos Junior

Political Scientist. PhD in Political Science. Federal University of Piauí, Ministro Petrônio Portella University Campus, Center for Human Science and Letters, Bairro Ininga, Teresina-PI. CEP: 64049-550. rjunior@ufpi.edu.br

Marcos Antônio Tavares Lira

Electrical Engineer. PhD in Development and Environment. Federal University of Piauí, Ministro Petrônio Portella University Campus, Center for Technology, Bairro Ininga, Teresina-PI. CEP: 64049-550. marcoslira@ufpi.edu.br

Resumo: A agroindústria familiar configura-se como estratégia de reprodução e fortalecimento da agricultura familiar e a utilização da energia solar para além dos seus processos naturais tem grande potencial de inserção e fortalecimento dessas ações através de sistemas de aquecimento e de geração de energia elétrica. Dessa forma, este artigo tem o objetivo avaliar estratégias para a implantação de tecnologias de energia solar aplicáveis à agroindústria familiar, utilizando como objeto de estudo o estado do Piauí. Utilizando-se os territórios de desenvolvimento do estado como unidade de análise, identificou-se os territórios com maior déficit de acesso à energia nos estabelecimentos agropecuários, assim como seu principal produto da agroindústria familiar, levantando-se a demanda de energia elétrica por meio de pesquisa bibliográfica e visita de campo. A partir de uma abordagem *bottom-up*, identificou-se que os saberes tradicionais do seu processamento já se utilizam de energia solar e propôs-se para as casas de farinha, tecnologias que integram a agroindústria familiar e energia solar, alinhadas com a realidade local, destacando-se integrações para iluminação artificial, bombeamento de água e força motriz.

Palavras-chave: Agricultura familiar, Sistema fotovoltaico, Farinha de mandioca, Casa de farinha

Abstract: Family agroindustry is a strategy for the dissemination and strengthening of family farming. The use of solar energy besides its natural processes has great potential for integrating and strengthening these actions through heating systems and electricity generation. Thus, this article aims to evaluate strategies for implementing solar energy technologies applied in family agroindustry, adopting the state of Piauí in Brazil as a case study. Considering the state's development territories as the units of analysis, the locations with the greatest deficit in access to energy in agricultural establishments and the main products of family agroindustry were identified from a thorough literature review and field visits, including the electricity demand. Adopting a bottom-up approach, the study identified that traditional local practices already incorporate solar energy. Thus, technological approaches for integrating family agroindustry and solar energy were proposed for cassava flour mills considering the particular characteristics of the assessed sites, including applications concerning artificial lighting, water pumping, and motive power.

Keywords: Family farming, Photovoltaic systems, Cassava flour, Cassava flour mills.

1 INTRODUCTION

Through the 2030 Agenda, in September 2015, the member countries of the United Nations once again agreed to eradicate hunger, while also committing to, among other objectives, making access to electricity universal and increasing the share of renewable energy. Brazil is a signatory to this agreement and, in this country, the agribusiness is of great importance in the calculation of its Gross Domestic Product, with a significant share of family farming, which can contribute to sustainable development.

In this context, this sector stands out, since it is responsible for a large portion of the production of relevant food to the population diet, in addition to contributing to the majority of the insertion of workers in rural areas and corresponding to the vast majority of agricultural establishments in absolute terms. Furthermore, with the signing of this global agreement, there was also a commitment to double agricultural productivity and the income of small food producers and, within this scenario, prioritizing Family Farming.

Although the agricultural sector has a low share of the country's electricity consumption, the use of renewable energy in the means of production and in the activities of family agroindustry can strengthen family farming and stimulate its reproduction, with emphasis on the use of solar energy beyond its natural processes. Thus, in this context, the northeast region stands out as having the greatest potential for the use of this energy source, especially due to the great relevance of family farming and the great availability of solar resources.

Thus, this article aims to evaluate strategies for implementing solar energy technologies applicable to family agroindustry, using the state of Piauí as a case study. Located in the Brazilian Northeast region, Piauí has 80.3% of its agricultural establishments associated with family farming. Therefore, the development of this research can contribute significantly to the development of innovative technologies and comply with the goals of Agenda 2030. This is because, although socio-environmental impacts manifest on a global scale, they become more noticeable at the local level, where mitigation actions are most effective.

2 THEORETICAL BASIS

Sustainable development can be understood as a set of processes and actions that should be conceived from a global perspective and executed at national, regional, and local levels, enabling the entire planet to develop equally, without one part advancing at the expense of others. Therefore, committed to universalizing access to energy, increasing the share of renewable energies, doubling the global rate of energy efficiency, and reinforcing international cooperation in research and technology transfer related to energy consumption and generation, the member countries of the United Nations (UN) signed the 2030 Agenda in September 2015. It consists of a global cooperation agreement comprising 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and 169 targets to be pursued over the subsequent 15 years (UN, 2015).

Population growth and, primarily, economic development generate an increased demand for electrical energy, which must be met through increased energy efficiency and the construction of new power plants, with the latter option causing significant socio-environmental impacts. In Brazil, the percentage of renewable energy sources in its energy mix (47.4% in 2022) represents more than three times the percentage of these sources in the global energy mix (14.1% in 2020) (EPE, 2023). However, there is still a need to expand this scenario aiming to achieve the commitments of Agenda 2030. The Brazilian energy mix has a significant penetration of hydroelectric generation, which is a renewable energy source whose expansion could be encouraged. However, hydropower plants cause significant socio-environmental impacts associated with the implementation process. Thus, other renewable energy sources, such as wind and solar, have been gaining prominence while presenting the highest increments in the Brazilian matrix from 2022 to 2023 in absolute and relative terms.

Another relevant issue is the universalization of access to electrical energy, which has not yet been

consolidated. In 2010, 84% of the world's population had access to electricity, but this index increased to 91% in 2020. However, it is estimated that 660 million people will still lack access to this asset in 2030, thus implying harmful impacts on health, productivity, and life quality (World Bank, 2023). In Brazil, universal access to electrical energy reaches 99.5% of the population, and although it presents better indicators compared to other public services such as water distribution (85.5%), sanitary sewage system (69.5%), and household garbage collection (92.2%) (IBGE, 2024), access to electricity must reach the entire population to ensure welfare, this being a problem that affects rural areas in particular (Leduchowicz-Municio, 2022).

It is estimated that agribusiness accounts for 24.1% of the Brazilian Gross Domestic Product (GDP) in 2023 (CEPEA, 2024), with the agricultural sector being responsible for 4.8% of all energy consumption in the country (EPE, 2023). Ending hunger, achieving food security, improving nutrition, and promoting sustainable agriculture are also commitments made by the Agenda 2030 (SDG 2), whereas one of its respective goals consists of doubling agricultural productivity and income for small food producers (UN, 2015). Within this scenario, priority is given to family farming, which accounts for 67% of the workforce in the sector at the national level in Brazil. It represents 77% of agricultural establishments and is responsible for a significant portion of the production of goods essential to the population's diet, such as cassava, coffee, banana, and beans (accounting for 80%, 48%, 48%, and 42%, respectively), for example (IBGE, 2019).

Despite its relevance, the participation of family farming in Brazil has been decreasing. The use of renewable energies in such activities has the potential to increase the autonomy of families involved, as well as enhance existing social technologies in Brazilian rural communities (Ortiz-Rodriguez *et al.*, 2022). In Brazil, a family farmer is considered to be a rural family entrepreneur who engages in activities in rural areas, on land of up to four fiscal modules (a unit of measurement in hectares, defined by the Brazilian government for each municipality based on its agricultural activity, ranging from five to 110 hectares), utilizes family labor, and has family income linked to the establishment itself, in turn managed by the family (Brasil, 2006).

In this sense, family agroindustry establishes itself as a strategy for the reproduction and strengthening of family farming. It is understood as a form of organization in which the family farmer transforms agricultural production, contributing to the income generation of family members and stimulating the creation of markets for local products, thus providing economic sustainability and preserving local culture (Besen; Pelin; Andrade, 2020). Family agroindustry aims mainly at value addition while requiring strategic vision in the adoption of new technologies for its development (Schaeffer *et al.*, 2021).

Thus, the use of solar energy, beyond its natural processes, has great potential for integration and strengthening of these actions through heating systems and electricity generation (Ortiz-Rodriguez *et al.*, 2022) (Viana *et al.*, 2019) (Verma *et al.*, 2021). In Brazilian rural areas, photovoltaic solar energy can be used for everyday activities such as lighting, food refrigeration or water consumption (Martin *et al.*, 2023) (Chowdhury; Naz, 2023), and also for agricultural activities such as irrigation or supplying water to animals (Gunasekaran; Chakraborty, 2023) (Gevorkov *et al.*, 2023), or even in the processing of products in the agro-industry (Queiroz and Brito, 2020).

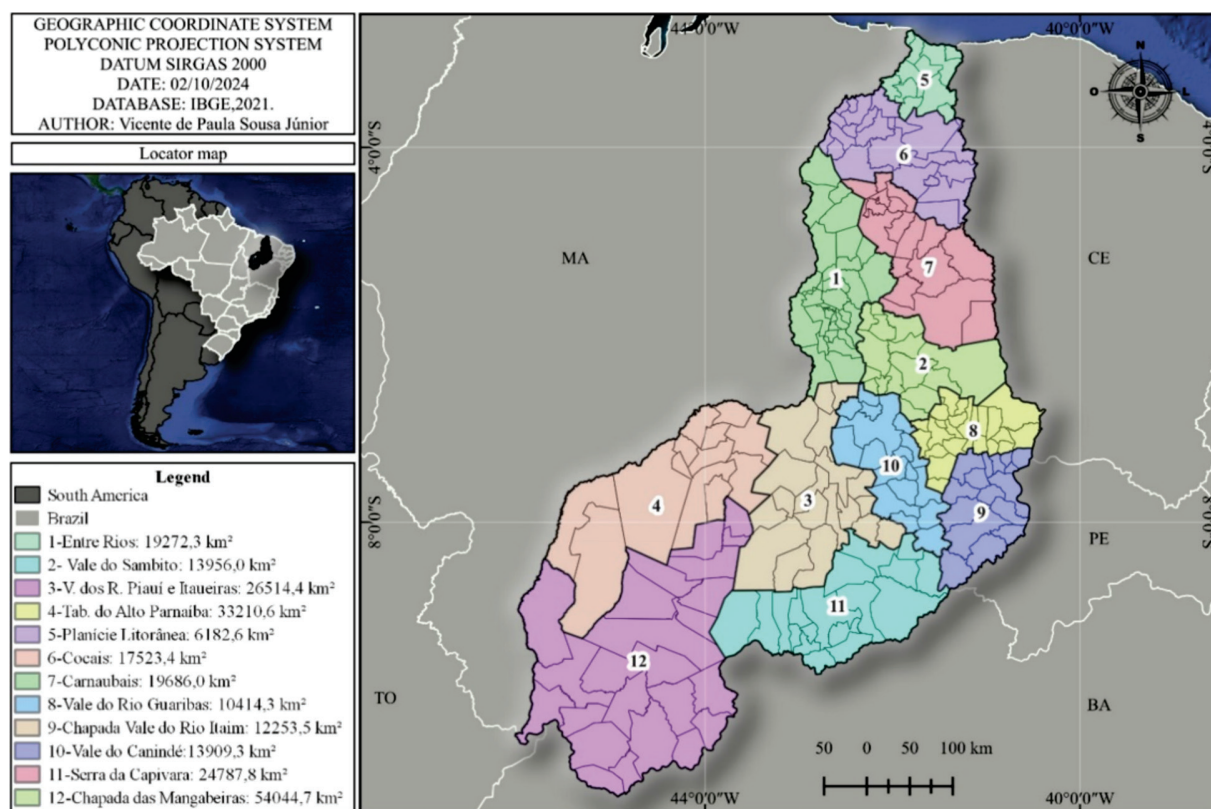
This is mainly due to the high availability of solar resources, whereas Brazil has a daily average of 5.15 kWh/m² (Global Horizontal Solar Irradiation), a level superior to that of leading countries in this type of generation, especially in Europe (Pereira *et al.*, 2017). In the national context, the Northeast region has the highest irradiation average (5.48 kWh/m²) and lower interannual variability, with extreme values between 5.39 and 5.59 kWh/m², and 50% of annual averages within the range between 5.43 and 5.50 kWh/m² (Pereira *et al.*, 2017). These indices highlight its potential compared to other regions of the country.

3 METHODOLOGY

The state of Piauí is divided into 12 development territories with various potentialities, among which agriculture stands out according to Figure 1. In the last agricultural census, a total of 245,601 agricultural establishments were identified in the state, with an average area of 40.76 hectares, of which 38.49% is meant for family farming, corresponding to an irrigated area of 3.33% and an annual agro-industrial production of R\$118.74 million (IBGE, 2019). However, a low human development index (HDI) was observed in the state, that is, corresponding to 0.541 (UNDP, 2023) (Silva *et al.*, 2030). Thus, given the importance of family farming and agroindustry for its strengthening, the insertion of the latter activity in the state was initially identified, as well as the most relevant products for family agroindustry, adopting development territories as the units of analysis.

Considering an average daily global horizontal irradiation of 5.71 kWh/m² in Piauí municipalities, that is, 4% higher than the regional average (Pereira *et al.*, 2017), the installation of 29,457 grid-connected photovoltaic generation systems was also observed, with an average power of 10.12 kW/system. In turn, rural systems represent 1.76% and 3.32% in the number of systems and installed power, respectively (ANEEL, 2023) (Silva *et al.*, 2023). On the other hand, a large portion of Piauí’s agricultural establishments still lacks access to electricity, corresponding to an average of 18.54%. This lack of infrastructure is likely to affect citizenship and health issues, productivity, and quality of life (Leduchowicz-Municio, 2022) (Brazil, 2019). Thus, the use of renewable energy sources, the great potential for the use of solar energy, and the existence of rural photovoltaic energy generation systems already installed in the state can improve this condition. In this sense, it was checked which development territory has the highest percentage of agricultural establishments without access to this asset, as well as their main family agroindustry activity to develop a thorough analysis of the state’s conditions.

Figure 1 – Development territories of the State of Piauí



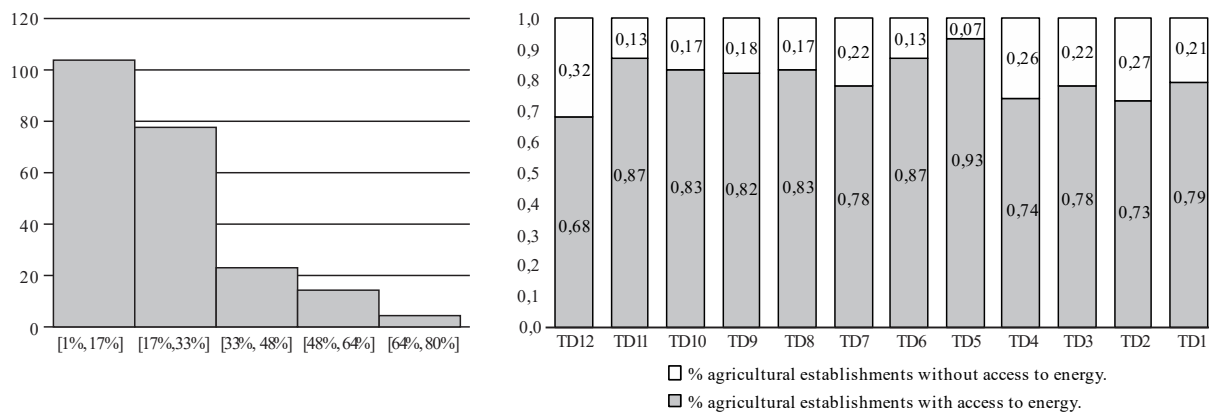
Source: Prepared by the authors from data provided by IBGE (2019, 2021).

Based on this diagnosis, the demand for electricity in this activity was assessed based on booklets prepared by the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) and through technical visits to a local family agroindustry. In this sense, technological solutions were proposed for this activity aiming at integrating family agroindustry and solar energy in alignment with the local reality. A bottom-up approach was used to propose solutions for integrating standalone photovoltaic systems based on the identification of input and service flows. Finally, it is worth noting that this territorial approach was also used by Freitas et al. (2021), who evaluated the capacity for productive interaction among Piauí residents based on the spatiality of patent production from public research institutions. In addition, Morais et al. (2020) suggest that this approach is especially useful for assessing the potential of family farming in the state. It is, therefore, a quantitative and qualitative research, because it is structured with statistical data and uses field visits for a deeper understanding of the research problem.

4 RESULTS AND DISCUSSION

The universal access to electricity is a global commitment of the Agenda 2030. However, it constitutes a challenge in the state of Piauí, especially in rural areas. Among 223 municipalities in the state, 32.73% have more than a quarter of agricultural establishments without access to electricity, and in 7.63% of them, the lack of access to this infrastructure affects more than half of the establishments (Figure 2a). Palmeirais, located in the Entre Rios Territory, stands out, where almost eight out of 10 establishments do not have access to this asset (79.60%). In this context, this territory also stands out with the highest number of establishments without access to energy in absolute terms (7,674 establishments). The Chapada das Mangabeiras territory is also relevant in this scenario for it represents the greatest problem regarding this infrastructure in proportional terms (32.00%) (Figure 2b) (IBGE, 2019).

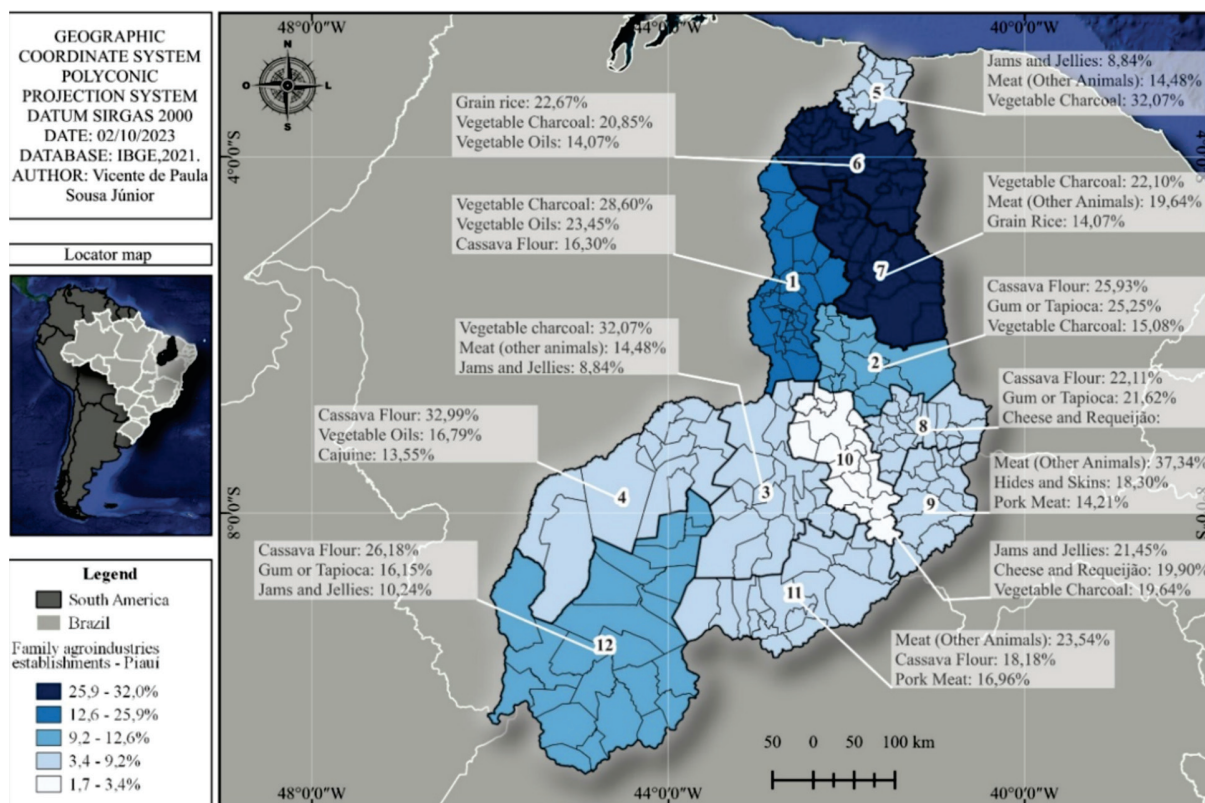
Figure 2 – Clustering of municipalities in terms of the percentage of agricultural establishments without access to electricity in Piauí (a), left figure, and percentages of agricultural establishments without access to electricity in the development territories of the state of Piauí (b), right figure



Source: prepared by the authors from data provided by IBGE (2019).

Considering the significant presence of family farming in the state (80.31% in relation to the number of agricultural establishments), it was observed that 37,484 Piauí agricultural establishments are directly involved in family agroindustry activities, among which 83.05% are owned by family farmers (IBGE, 2019). Family agroindustry promotes the strengthening of family farming, promoting economic sustainability, and preserving local culture (Besen; Pelin; Andrade, 2020) (Schaeffer *et al.*, 2021). The products processed in these establishments are intended for self-consumption and local trade. Thus, Piauí family farmers generated the equivalent of R\$80.66 million in 2017, with 45.23% of the products intended for sale. Each territory has a specific production potential, with cassava flour, charcoal, and paddy rice standing out as the products with the highest production percentages with respect to the total production value of the state (14.83%, 9.54%, and 8.64%, respectively). Furthermore, considering the contribution of agroindustry, activities that benefited the largest number of agricultural establishments in proportional terms were listed in each of the territories (Figure 3).

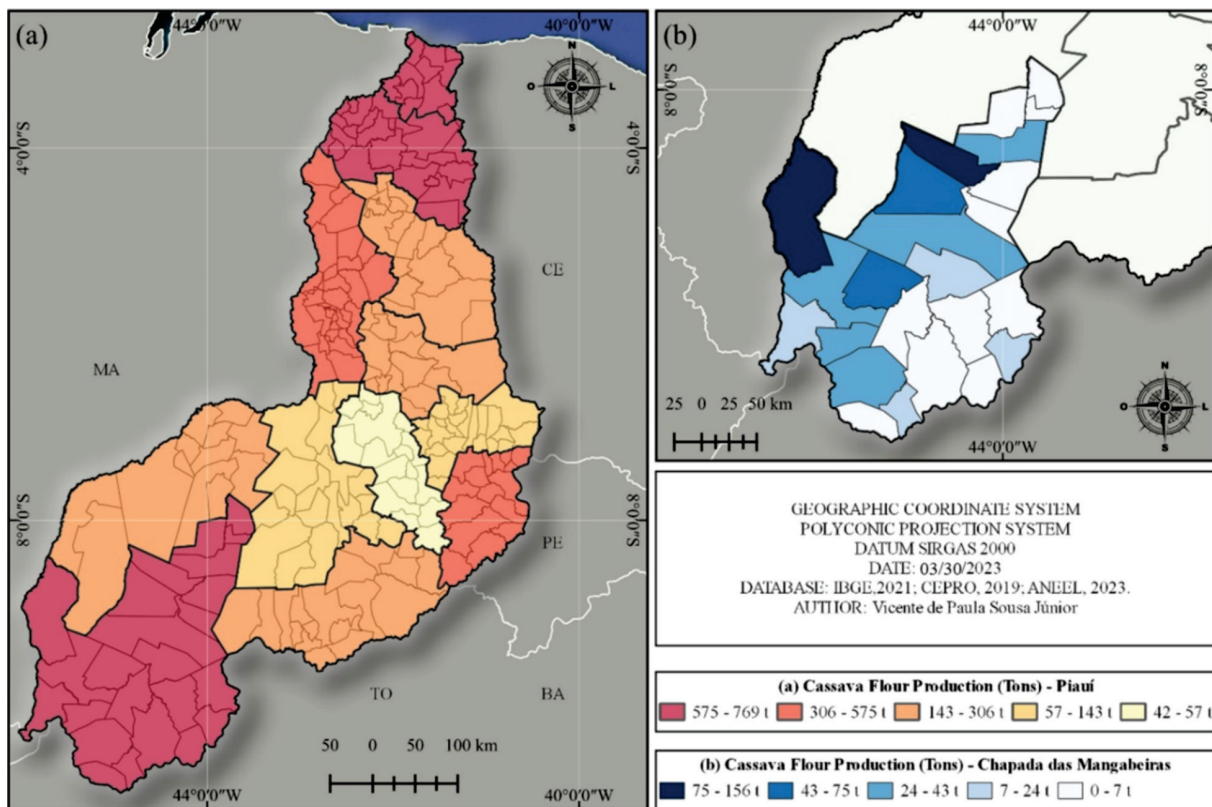
Figure 3 – Family agroindustry in the state of Piauí



Source: prepared by the authors from data provided by IBGE (2019, 2021).

The Chapada das Mangabeiras territory was chosen for the assessing strategies used in the implementation of solar energy technologies and application to family agroindustry, as it has the highest deficit in universal access to energy. With 24 municipalities, an average area of 2,251.86 km² per municipality, and 17,596 agricultural establishments (77.73% involved in family farming and 12.51% associated with family agroindustry), this activity generated R\$9.78 million, with 56.46% destined for local trade (IBGE, 2019). Cassava flour, tapioca, or starch, as well as candies and jams, are the products with the greatest insertion in the family agroindustry of this territory. In particular, candy production is present in 26.18% of the establishments (average production of 23.96 tons per municipality). For this reason, following the proposed methodology, this first activity was selected for this study. The municipalities of Manoel Emídio and Santa Luz stand out with no production, while the municipality of Santa has the highest cassava flour production in the territory (27.13%) (Figure 4). Furthermore, starch and tapioca are usually considered byproducts of cassava flour (Oliveira et al., 2019). Thus, strengthening flour production also encourages the production of other derivatives, which are highly relevant to local markets and represent the second main activity for family agroindustry in this territory (16.15%) (Figure 4).

Figure 4 – Cassava flour production from family agroindustry in Piauí and in the Chapada das Mangabeiras territory



Source: prepared by the authors from data provided by IBGE (2019, 2021).

Cassava (*Manihot esculenta*), also known as bitter cassava, is a tuber with a high starch content, native to Latin America (the Amazon region), which has been cultivated by indigenous peoples since pre-Columbian times. However, disseminated by European traders, it is now also produced in other countries in Asia and Africa, the latter continent currently accounting for more than 50% of global production. Cassava is a highly energetic food for the world's population, especially underdeveloped countries, being primarily cultivated by small-scale producers in limited areas with low productivity (Akano; Oderinde; Omotayo, 2023) (FAO, 2016). In Latin America, Brazil is the leading producer, accounting for over three-quarters of production. The northern region represented 36.2% of national production in 2017, followed by the southern, northeastern, southeastern, and central-western regions (25.8%, 20.0%, 10.9%, and 7.0%, respectively) (IBGE, 2019). Therefore, the worldwide relevance of cassava for achieving the UN's SDGs, especially in combating hunger (SDG 2) is evident, mainly in underdeveloped countries. This is true in the Brazilian case, specifically in the neediest regions, whereas the northern and northeastern regions stand out as the main consumers of this product.

Starch is stored in their roots in all cassava species. However, these roots contain toxic components in different concentrations, which allow for the classification into sweet or bitter cassava. Sweet cassava (also known as manioc or yucca) can be consumed fresh or processed, while bitter cassava must be processed to reduce its toxicity. In this work, we will focus on the latter type, which will be referred to simply as cassava and is characterized as an input, whose transformation into flour traditionally occurs in flour mills.

These establishments are classified as traditional (manual processing and rustic utensils), semi-mechanized (introduction of some machines powered by diesel, gasoline, or electricity), or mechanized (fully mechanized process), depending on the technological level employed. In these facilities, the most common cassava processing methods are maceration, dissolution or soaking in water, boiling, roasting or fermentation, or a combination of the aforementioned processes, resulting in various products. Thus, cassava derivatives include table flours (white, yellow, gum, or water), gum (starch), puba flour (obtained

in the same way as gum, but using fermented cassava), and tucupi, the latter traditionally consumed only in the northern region of Brazil (Oliveira *et al.*, 2019). Therefore, one can state that these processes consist of traditional knowledge that is primarily passed down from parents to children and strengthens family farming.

Inserted in all territories of the state (Figure 4), cassava flour production is present in 64.73% of the municipalities. As previously mentioned, it still corresponds to the main product of family agroindustry in the state in terms of added value (14.83%). Thus, for the introduction of solar energy technologies in rural areas, a family agroindustry located in the rural area of Teresina city was chosen as the study object (Figure 5) (22.4 km from the city's zero milestone). Being the capital of the state and located in the Entre Rios territory, Teresina was characterized from technical visits conducted in March 2023 (rainy season in the region). The semi-mechanized flour mill is located in the Elisa Romário Community and was installed in 2017, with an initial investment of R\$15,000. It is owned by the Teresina residents João Alves de Lima and Maria das Dores de Sousa Lima (85 and 76 years old, respectively), who live in a house located on a separate lot and 20 m away from the studied agricultural establishment. The property has two hectares and the agroindustry is managed by the couple using family labor. It serves ten families belonging to the community and the population of the region, which in turn provides the cassava to be processed. The producers are remunerated in cash or with part of the processed product.

The family reported that traditional knowledge passed down from parents to children has been of great importance. However, the agricultural establishment, which has access to bank financing, also benefits from technical assistance provided by the municipal and state governments. This is a privileged scenario that comprises only 2.85% of the agricultural establishments in the state (IBGE, 2019). Bananas, mango, acerola, corn, beans, and cassava are produced on the property, in addition to the cassava processed in the flour mill. All products are primarily intended for self-consumption, and the family agroindustry produced 1,500 kg of white flour and 800 kg of cassava gum in 2022. However, a decrease in production was expected for 2023, since the families in the region prioritized the production of sweet cassava instead, which has a shorter production cycle (six to eight months). This is a more suitable choice for the region owing to the irregular distribution of rainfall, which allows for greater crop rotation. However, it is possible to intercrop cassava with other crops such as corn and beans, thus increasing efficiency in land use (Nwokoro *et al.*, 2022) (Batista *et al.*, 2022).

Cassava is mainly cultivated in the tropics. The ideal temperature range and rainfall regime for this purpose are between 20 °C and 27 °C and between 1,000 and 1,500 mm per year, considering a regular distribution, respectively. In the driest regions (with lower rainfall indices) and irregular rainfall distribution, such as the Brazilian Northeast region where the studied agroindustry is located, and in African countries, the world's largest producers and consumers, respectively, the main problem for cassava cultivation is water scarcity. This issue requires planting adaptation according to the rainy season or even irrigation of crops, which may cause a drastic reduction in production (Sousa; Silva, 2020). Although cassava cultivation is predominantly rainfed, with planting during the rainy season to favor root development at the beginning of the production cycle, cassava crop irrigation has been used. This technique has the potential to increase yield, tuber quality, and land use efficiency, reducing production time and providing greater flexibility in farm management, with benefits extended to intercropping. However, it must be planned according to the characteristics of each region and the availability of water resources. Sprinkler irrigation is the most used resource owing to its flexibility for intercropping irrigation but at the expense of lower water use efficiency (Silva, *et al.*, 2022) (Coelho Filho, 2020).

Figure 5 – Family agroindustry producing cassava flour in the state of Piauí



Source: prepared by the authors from data provided by IBGE (2019, 2021).

Therefore, it is necessary to encourage the intercropping of cassava with other short-cycle crops that provide greater food security for families. Depending on the characteristics of each region and the availability of water resources, the installation of irrigation systems focused on water use efficiency is also a must. On the farm, cassava planting is done traditionally with “manivas” (small stakes made from the plant’s stem) arranged in rows with a width of one meter and a distance of 30 cm between them, with a production cycle of approximately one and a half years, using a sprinkler irrigation system activated during dry periods. The water used comes from a tubular well with a flow rate of 58,000 l/h and a depth of 100 m, using a 20-HP pump operated by the municipal government that serves the entire community, but not exclusively.

In the studied family agroindustry, white flour and cassava starch are produced simultaneously (coproduction system) during June, July, and August. The process begins with the manual peeling and washing of cassava, which is subsequently crushed in a machine powered by a 3-HP three-phase electric motor (Figure 6a). The crushed cassava is then deposited on a stretched fabric supported by wooden stakes over concrete tanks for washing with water and, from this stage, the production of flour and starch become different processes (Figure 6b). For flour production, the crushed and washed cassava is wrapped in the fabric, with the ends tied, and taken to a manual press to remove excess moisture (Figure 7a). Then, the dry cassava is roasted in an open oven that is manually operated with the aid of a large-handled wooden paddle, since the cassava must be constantly stirred. In addition, it is noteworthy that the oven is fueled by biomass (wood collected in the local region) (Figure 7b)

Figure 6 – Electric cassava crusher (a), left, and motor identification plate (b)



Source: Prepared by the authors.

Figure 7 – Concrete tanks with stakes for washing cassava (a), left, and oven for roasting cassava flour and cooking tapioca (b)



Source: Prepared by the authors.

For the production of starch, the mixture of water with the residue from cassava washing after crushing is placed in tanks and left to settle overnight. After manually removing the water, the starch is spread on a tarpaulin stretched over a slab (Figure 8a) (Rayssa *et al.*, 2021). It is then left to dry in the sun, justifying the operation of the flour mill during the dry season only and showing that traditional knowledge already makes use of solar irradiation in the production process. Both products are consumed year-round, so after roasting, the white flour is weighed on a mechanical scale (Figure 8b) and packaged in 30-kg bags. Once dried, the starch is also weighed and packed in 40-kg bags or, alternatively, it can be cooked in the oven to produce “beiju” or tapioca for immediate consumption. However, during months when cassava processing does not occur, the infrastructure of the flour mill is also used. It allows for the storage of complementary production (such as corn and beans) and processing of fodder for animal feed, also serving as a breakroom. Furthermore, it is noteworthy that adopting good production practices is a must as claimed by EMBRAPA. Thus, one can ensure good quality and food safety of products regarding infrastructure, equipment, utensils, handlers, production, transportation, and documentation (Rayssa *et al.*, 2021).

Figure 8 – Slab for drying cassava starch (a), left, and mechanical scale for weighing (b)



Source: Prepared by the authors.

The electrical energy supply to the agroindustry consists of a three-phase system (220 V/380 V). Analyzing the last energy bills, an average energy consumption of only 1.54 kWh/month was identified. The low energy consumption could indicate good efficiency. However, although its artificial lighting system is efficient, the driving force used has low efficiency. In addition to the 3-HP, four-pole, three-phase motor with an efficiency of 85.1% used for cassava crushing, other equipment also consumes electrical energy in the flour mill: three 15-W fluorescent lamps (turned on only at night) and a forage crusher for animal feed and coconut oil production, powered by a 7.5-HP, two-pole, three-phase motor with an efficiency of 86.7%. The International Electrotechnical Commission (IEC) classifies three-phase induction motors according to the efficiency based on the rated power and number of poles as IE1 (standard efficiency), IE2 (high efficiency), IE3 (premium efficiency), and IE4 (super premium efficiency). The first motor belongs to the IE2 efficiency class, while the second motor is classified as IE1 (IEC, 2014). Therefore, one can state that the motors have a low performance since the minimum efficiency for motors to be marketed in Brazil must be IE3 as of 2021 (Souza *et al.*, 2022).

Electricity utilities must bill residential consumers for the highest value obtained from either active power consumption or the availability cost tariff, which is equivalent to 30 kWh, 50 kWh, or 100 kWh, for single-phase, two-phase, or three-phase installations, respectively (BRASIL, 2021). Therefore, even with such a low consumption, the unit must pay for the minimum monthly consumption of 100 kWh. Therefore, it is recommended for the agricultural establishment to replace the three-phase motors with lower power and single-phase motors with a higher efficiency. In addition, changing the energy supply to a single-phase system (220 V) would yield a monthly saving that could make the replacement of motors feasible. However, special care must be taken in selecting single-phase motors, since minimum efficiency standards are not established for such devices in Brazil (Souza *et al.*, 2022).

In the state of Piauí, the main driving factor for the installation of grid-connected photovoltaic microsystems in rural areas is the presence of irrigation systems (Silva *et al.*, 2023), which also exist in the assessed agricultural establishment. Furthermore, the electricity supply by the local utility enables the installation of grid-connected photovoltaic systems in the facility. Moreover, the processes that require electricity (artificial lighting, water pumping, cassava crushing, babassu coconut processing, and forage production for animal feed) also allow for the installation of standalone photovoltaic systems. However, even with the existence of 505 rural photovoltaic systems connected to the utility grid (1.76% of the total systems in the state), installed in 138 municipalities of Piauí (61.16%), with an average power of 12.69 kW/system (ANEEL, 2023), the low energy consumption in this specific agroindustry does not make installation feasible (Morais *et al.*, 2021).

However, lack of access to electrical energy and high energy consumption may make the installation of such systems feasible in other locations, reducing energy poverty and becoming an alternative for universal access, strengthening family farming, and positively contributing to the objectives of Agenda 2030. Traditionally, standalone photovoltaic systems rely on using battery banks that require a high initial investment and have a short lifespan. Thus, for artificial lighting, commercial light-emitting diode (LED) lamps can be used. Such devices are simple, easy to install, and cost-effective, while also reducing risks associated with inhaling toxic gases and fire from the burning of lamp fuels (Martin *et al.*, 2023) (Chowdhury; Naz, 2023).

As for water collection aimed at irrigation systems and processing inputs in agroindustry, as well as human and animal consumption, the use of solar pumping systems connected to an elevated reservoir is proposed to provide autonomy and replace battery banks, this being an alternative well-established in the photovoltaic market (Gunasekaran; Chakraborty, 2023) (Gevorkov *et al.*, 2023). As an alternative to energy storage systems, the use of high-efficiency induction motors connected directly to a solar inverter is also suggested. The motors can be powered directly by the photovoltaic modules, which can even be integrated into the pumping system (Pena *et al.*, 2022) (Feijão; Almeida; Brito, 2022). Queiroz and Brito (2020) evaluated the feasibility of this type of system for a cassava crusher. Good results were obtained considering the availability of 200 Wp of solar irradiation. Another possibility consists of using the same photovoltaic generator for pumping systems when the crusher is not active. This is an innovative solution, as such devices were initially designed for the industrial environment for controlling the speed of alternating current motors. Later, they were adapted for a direct connection to the photovoltaic generator aiming to supply water pumping systems.

5 CONCLUSION

The agricultural sector accounts for around a quarter of the Brazilian GDP. In this scenario, family farming stands out. This activity is associated with 77% of Brazilian agricultural establishments, corresponding to 67% of the sector's workforce and being responsible for supplying a large part of the Brazilian diet. The state of Piauí has a great vocation for this type of production. Although it has high solar irradiation levels and several rural micro and mini photovoltaic solar energy systems installed, a large portion of its agricultural establishments do not have access to electricity.

Thus, adopting Piauí as the object of study and using its development territories as units of analysis, it was possible to assess the integration of photovoltaic solar energy and family agroindustry as strategies for strengthening family farming, increasing access to electricity and reducing poverty, as well as contributing to Agenda 2030. Family agroindustry emerges as a strategy for the reproduction and strengthening of family farming, stimulating the creation of markets for local products, providing economic sustainability, preserving local culture, and adding value while requiring the integration of technologies for its development.

The universal access to energy is a global commitment. However, it poses a challenge, especially in underdeveloped countries and, particularly, in rural areas. Increasing the use of renewable energy sources is also one of the goals of Agenda 2030, which can contribute to universal access to electricity. Thus, owing to the high availability of solar resources and the existence of various systems already installed in rural areas, the use of solar energy beyond its natural processes has great potential for the integration and strengthening of family agroindustry and family farming through heating and electricity generation systems.

Cassava is a highly energy-rich food. Even though it is a tuber that originated in Latin America (Amazon region), it is strongly present in the diet of the world population, especially in countries in Asia and Africa. It is often cultivated by small producers in small areas with low productivity, having great relevance in fighting hunger at a global level. Thus, the material and energy flows of cassava processing were assessed in this work. It was observed that traditional knowledge of its processing already incorporates the use of solar energy. In addition, the main demand for electrical energy arises from the crushing process and irrigation of crops. The latter is necessary to increase yield, tuber quality, and

land use efficiency, reducing production time and providing greater flexibility in the management of the agricultural establishment, with benefits extended to intercropping. Therefore, both the aforementioned processes require taking action for the improvement of energy efficiency, especially through the use of motors with a higher efficiency, as well as the use of renewable energy sources.

Flour mills may lack access to electrical energy supply from local energy utilities, thus requiring the implementation of structural projects. Alternatively, when this asset is readily available, there is the possibility of installing grid-connected photovoltaic systems, which requires a proper feasibility study. However, in either case, standalone photovoltaic systems can be installed, thus contributing to ensuring access to electricity and reducing energy poverty. It is therefore recommended to use LED lamps associated with photovoltaic generators and energy storage systems, thus enabling artificial lighting and contributing to reducing the emission of harmful gases and the risk of fire resulting from the burning of lamp fuels.

The use of solar pumps and elevated reservoirs has been suggested for water collection aimed at irrigation systems, processing inputs in agroindustry, and human and animal consumption. They should be properly sized to provide autonomy while not requiring energy storage systems. Finally, the use of solar inverters is proposed, whereas power crushers or other multi-use motors could be directly connected to the inverters in rural areas. These systems can benefit from other applications when not used for cassava processing, either integrated or not with solar pumping systems. Therefore, it proves to be an innovative solution, since this technology was not developed for this specific purpose.

REFERENCES

AKANO, O. I.; ODERINDE, F. O.; OMOTAYO, A. O. Agricultural yield, food nutrition and dietary energy supply in Nigeria: Evidence from nationally representative data. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 11. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100525>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relação de empreendimentos de geração Distribuída**. Brasília, 2023. Available at: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida> Accessed: Jan. 2023.

_____. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**: Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília, 2021. Available at: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651> Accessed: Jan. 2024.

BATISTA, N. S.; FERREIRA, J. R.; LATAWIEC, A. E.; SILVA, C. S. R. A.; GUERRA, J. G. M.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; JESUS, E. C.; JESUS, E. C.; ARAÚJO, E. S. O cultivo da mandioca em consórcio aumenta a eficiência do uso da área. In: DIAS, A. (org.). **Ensino, pesquisa e extensão em Agroecologia e Agricultura Orgânica**: dez anos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica. Seropédica: PPGAO, 2022. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1148240/o-cultivo-da-mandioca-em-consorcio-aumenta-a-eficiencia-do-uso-de-area> Accessed: Jan. 2024.

BESEN, F.; PLEIN, C.; ANDRADE, M. Family agroindustry as a family farming reproduction strategy. **Emancipação**, v.19. 2020. Available: <https://revistas.uepg.br/index.php/emancipacao/article/view/14576>. Accessed: Jan. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 11.326, de 24 de julho DE 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília, 2006. Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm. Accessed: Jan. 2024.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS DE ECONOMIA APLICADA. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. São Paulo: USP, 2024. Available at: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Accessed: Jan. 2024.

CHOWDHURY, A.; NAZ, A. Reducing energy poverty, carbon footprint, human health risk and achieving the sustainable development goals, by use of solar lamps at Indian Sundarbans. **Materials Today: Proceedings**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.032>.

COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da cultura da mandioca**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2020. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1121941/irrigacao-da-cultura-da-mandioca> Accessed: Jan. 2024.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Brazilian Energy Balance**. Brasília, 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cassava in the Caribbean Region** - A look at the potential of the crop to promote agricultural development and economic growth. Bridgetown: UN, 2016.

FEIJÃO, A. T.; ALMEIDA, A. M. G.; BRITO, A. U. Photovoltaic acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry juice extractor machine. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2180, 2022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2180/1/012004>.

FREITAS, R. A. B.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; BUENO, P. H. C.; MORAIS, M. A. C.; MELO, H. C. S.; COSTA, D. L. V. Patentes e espaço geográfico: Uma análise espacial do território piauiense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9. 2021.

GEVORKOV, L., DOMÍNGUEZ-GARCÍA, L. J.; ROMERO, L. T. Review on Solar Photovoltaic-Powered Pumping Systems. **Energies**, v. 16, n. 94. 2023. <https://doi.org/10.3390/en16010094>.

GUNASEKARAN, V.; CHAKRABORTY, S. Technical and environmental aspects of solar photo-voltaic water pumping systems: a comprehensive survey. **Water Supply**, v. 23, n.7. 2023. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.165>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017: Resultados definitivos**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **Geociências** - downloads. 2021. Available at: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> Acesso: mar. 2023

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual** - PNADC/A. 2024. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnadca/tabelas>. Accessed: Jan. 2024.

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-2-1: Rotating electrical machines – Part 2-1: standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)**, 2ª edição. Paris, 2014. Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/121>. Accessed: Jan. 2024.

LEDUCHOWICZ-MUNICIO, A.; LÓPEZ-GOZÁLEZ, A.; DOMENECH, B.; FERRER-MARTÍ, L.; UDAETA, M. E. M.; GIMENES, A. L. V.; Last-mile rural electrification: Lessons learned from universalization programs in Brazil and Venezuela. **Energy Police**, vol. 167. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113080>.

MARTIN, T.; NANJEBE, D.; ATWINE, D. Assessment of the proportion of households with burn victims, associated risk factors and knowledge of burn injury prevention strategies in South Western Uganda. A population based cross sectional survey. **Burns**, v. 49. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2023.03.016>.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos para análise de viabilidade técnico-econômica**. Teresina: EdUESPI, 2021. Available at: <https://editora.uespi.br/index.php/editora/catalog/book/63> Accessed: Jan. 2024.

MORAIS, M. D. C.; SOUSA, A. M. B.; ARAÚJO, C. F. S. Agricultura Familiar no Piauí: uma leitura do censo agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, p. 91-112, 2020.

NWOKORO, C. C.; KREYE, C.; NECPALOVA, M.; ADEYEMI, O.; BARTHEL, M.; PYPERS, P.; HAUSER, S.; SIX, J. Cassava-maize intercropping systems in southern Nigeria: Radiation use efficiency, soil moisture dynamics, and yields of component crops. **Field Crops Research**. v. 283. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108550>.

OLIVEIRA, L. A.; MOTA, J. S.; JESUS, J. L.; SASAKI, F. F. C.; VIANA, E. S. **Processamento de aipim e mandioca-brava**. Brasília: EMBRAPA, 2019. Available at: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1117995>. Accessed: Jan. 2024.

ORTIZ-RODRÍGUEZ, N. M.; CONDORÍ, M.; DURAN, G.; GARCÍA-VALLADARES; O. Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. Applied Thermal Engineering. **Applied thermal engineering**, v. 215. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>.

PENA, A. G. L.; BRITO, A. U.; GUEDES, P. M. L.; MONTEIRO, F.; MALHEIROS, J. B.; MALHEIROS, F. B.; GUEDES, M. C.; DIAS JÚNIOR, A. F.; FRANÇOIS, D. E.; POGANIETZ, W.; PARMENTIER, M. J. Sistema fotovoltaico isolado de configuração mista para famílias ribeirinhas. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 13, n. 2. 2022. <https://doi.org/10.59627/rbens.2022v13i2.399>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil-Ranking**. Brasília: PNUD, IPEA, FJP, 2023. Disponível: <http://idhm.org.br/ranking>. Accessed: Feb. 2023.

QUEIROZ, A. O.; BRITO, A. U. Direct Connection Photovoltaic System in multi-motor application for the rural sector. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n3p303-314/2020>

SANTOS, R. S.; BRAGA, A. C. C.; FIGUEIREDO, E. L.; SILVA, N. S.; BRAGA, L. A. C. Hygienic-sanitary diagnosis and corrective measures in the processing of cassava flour. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.16, n. 3. 2021. <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i3.8309>.

SCHAEFFER, S. M.; PADILHA, A. C. M.; SECCHI, M.; SOUZA, M. Inovações na produção e beneficiamento de chás: o caso da agroindústria familiar “Consórcio Santa Gema de Plantas Medicinais”. **Espacio Abierto**, v. 30, n. 1. 2021.

SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; LOPES, W. G. R.; LIRA, M. A. T. Driving factors for the installation of mini and micro rural distributed generation systems: economic analysis - a case study in Piauí, Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 14, 2023. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v14n2.2023.49414>.

SILVA, R. B.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; MAGALHÃES, I. D.; MORAIS, M. A. F.; TEODORO, I. P. O.; SILVA, J. C.; LOPES, J. H.; SANTOS, J. T.; ALMEIDA, B. V. L. R.; RAMOS, P. F. S.; GOIS, P. V. S.; CORDEIRO, L. R.; SANTOS JÚNIOR, J. C.; MARTINS, G. M. C.; SANTOS, W. M.. Growth, productivity and viability of irrigation in cassava crop in the Alagoas Coastal Plateaus. **Ciência Rural**, v.52, n.4. 2022. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210145>.

SOUZA, D. F.; SALOTTI, F. A. M.; SAUER, I. L.; TATIZAWA, H.; ALMEIDA, A. T.; KANASHIRO, A. G. An assessment of the impact of Brazilian energy efficiency policies for electric motors. **Energy Nexus**, v. 5. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100033>.

SOUZA, L. D.; SILVA, A. F. **Sistema de produção de mandioca no Semiárido**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2020. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131107/sistema-de-producao-de-mandioca-no-semiarido>. Accessed: Jan. 2024.

UN - UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Nova York, 2015.

VERMA, S.; MISHRA, S.; CHOWDHURY, S.; GAUR, A.; MOHAPATRA, S.; SONI, A.; VERMA, P. Solar PV powered water pumping system – A review. **Materials Today: Proceedings**, n. 46. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434>.

VIANA, L. A.; OLIVEIRA FILHO, D., TOLEDO, O. M.; SILVA, S. C.; DALVI, G. G. Decrease in off-peak electrical energy demand by agroindustries due to photovoltaic solar generation. **Engenharia Agrícola**, v. 39, 2019. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p537-547/2019>.

WORLD BANK. **Basic Energy Access Lags Amid Renewable Opportunities** - New Report Shows. 2023. Available at: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/06/basic-energy-access-lags-amid-renewable-opportunities-new-report-shows>. Accessed: Jul. 2023.

O IMPACTO DO PROGRAMA NACIONAL DE FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR NA RENDA DOS PRODUTORES DE COCO NO VALE DO CURU, CEARÁ

The Impact of the National Program for Strengthening Family Farming on the coconut producers' income in Vale do Curu, Ceará

Laura Cunha Rebouças Lessa

Engenheira Agrônoma. Doutora em Economia Rural. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, CE. 60455-760. lauracrlessa12@gmail.com

Eucinete de Menezes Albuquerque

Engenheira Agrônoma. Doutoranda em Economia Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, CE. 60455-760. eucinetemenezes@gmail.com

Nicole Sarah Carvalho Ponte Moura

Engenheira Agrônoma. Mestre em Economia Rural. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, CE. 60455-760. nicolle.ncsp@hotmail.com

Filipe Augusto Xavier Lima

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Extensão Rural. Professor adjunto do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, CE. 60455-760. filipeaxlima@ufc.br

Francisco José Silva Tabosa

Economista. Doutor em Economia. Professor adjunto do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 826, Pici, Fortaleza, CE. 60455-760. franzetabosa@hotmail.com

Resumo: Este trabalho tem por objetivo analisar o efeito em curto prazo do PRONAF sobre a renda dos produtores de coco do Vale do Curu, no estado do Ceará. A hipótese é que o PRONAF interfere positivamente na renda desses produtores. Para a realização da pesquisa, foram utilizados dados de origem primária, resultantes da aplicação de questionários semiestruturados junto aos agricultores familiares da localidade. São avaliados dois grupos de produtores: um que recebe o benefício do governo (tratado) e outro que não recebe (controle); ainda que estejam equiparados às mesmas condições. Nesse sentido, o efeito foi estimulado pelo *Propensity Score Matching* (PSM), combinado com o balanceamento por entropia. Foi determinada, também, a Análise de Sensibilidade de *Rosenbaum bounds* (2002), uma vez que as variáveis não observáveis podem afetar os resultados estimados. Os resultados do PSM e do balanceamento por entropia mostram que o PRONAF desencadeia efeito positivo e significativo na renda dos agricultores.

Palavras-chave: PRONAF, Crédito rural, Agricultura familiar, Balanceamento por entropia, PSM.

Abstract: This study aims to analyze the short-term effect of PRONAF on the income of coconut producers in the Vale do Curu, in the state of Ceará. The hypothesis is that PRONAF has a positive interference on the income of these producers. To conduct the research, primary data were used, resulting from the application of semi-structured questionnaires to family farmers in the area. Two groups of producers are evaluated: one that receives the government benefit (treated) and another that does not (control), even though they are under the same conditions. The effect was stimulated by Propensity Score Matching (PSM), combined with entropy balancing. Additionally, Rosenbaum bounds Sensitivity Analysis (2002) was determined since unobservable variables may affect the estimated results. The results from PSM and entropy balancing show that PRONAF triggers a positive and significant effect on farmers' income.

Keywords: PRONAF, Rural credit, Family farming, Entropy balancing, PSM.

1 INTRODUÇÃO

A criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) foi vista como uma grande vitória para a agricultura familiar e se tornou um instrumento fundamental na promoção do desenvolvimento rural no país. O grupo B do PRONAF é representado por agricultores familiares, proprietários ou não, residentes na propriedade ou em local próximo, que possuem terra com áreas inferiores a quatro módulos fiscais e são exploradas com base no trabalho familiar, sem uso de qualquer tipo de empregado permanente. Nas regiões mais carentes, como no Nordeste, tal política assume maior expressividade em função da grande abrangência que alcança, dados os elevados recursos financeiros envolvidos e a relevância socioeconômica exercida pela agricultura familiar na segurança alimentar, geração de emprego e renda e dinamização das economias locais (Mattei, 2005).

No contexto da fruticultura produzida pela agricultura familiar, destaca-se a produção de coco do Ceará, especialmente na região do Vale do Curu, composto por 16 municípios, onde existe um extenso projeto público de irrigação há mais de três décadas. O município de Paraipaba detém a maior produção. Todavia, a produção de coco é destaque nos demais municípios da região, como Trairi, Amontada, Itapipoca, Paracuru e São Luís do Curu. O projeto Curu-Paraipaba concentra o maior cultivo de coco no Ceará, com 2.554 hectares para o tipo anoão irrigado, com uma produção mensal de 4,5 milhões de frutos, praticada por pequenos produtores. Ao mesmo tempo, o perímetro irrigado Curu-Pentecoste, localizado nos municípios cearenses de Pentecoste e São Luís do Curu, colhe por mês 2,4 milhões de cocos, consorciado com a cultura de banana, cultivados em uma área de 1.400 hectares do projeto (IBGE, 2021).

Nesse sentido, a pergunta norteadora deste trabalho é: os produtores de coco que receberam o PRONAF, em 2019, conseguiram exprimir rendas mais elevadas que aqueles que não receberam? O objetivo é analisar o efeito em curto prazo sobre a renda dos produtores de coco beneficiários do PRONAF B. São avaliados dois grupos de produtores: um que recebe o benefício do governo (tratado) e outro que não recebe (controle), mas que estão equiparados às mesmas condições. Para tal, o efeito foi estimulado pelo *Propensity Score Matching* (PSM), combinado com o balanceamento por entropia.

Pela relevância deste segmento e pelo volume de recursos envolvidos, a avaliação de impacto do PRONAF é considerada uma ferramenta capaz de determinar o efeito do programa e até que ponto esse efeito pode ser efetivamente atribuído ao programa e não a outras causas. Portanto, a hipótese assumida no estudo é que o PRONAF interfere positivamente na renda dos produtores de coco no Vale do Curu. Espera-se que o estudo preencha uma lacuna na avaliação de impacto do programa e forneça subsídios aos formuladores de políticas públicas que buscam melhorar a sua atuação, bem como auxiliar no desenvolvimento de políticas agrícolas que estimulem a agricultura sustentável para os agricultores familiares.

O estudo está organizado da seguinte forma: a primeira seção introdutória. Uma segunda seção dedicada a uma breve conceituação teórica. A terceira seção cobre as bases de dados e os métodos propostos no artigo: *Propensity Score Matching* (PSM) e balanceamento por entropia. Os resultados são apresentados e discutidos na quarta seção. A última seção é utilizada para apresentar as considerações finais do trabalho.

2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

2.1 Produção de coco no Brasil

O coqueiro é considerado uma planta de múltiplas funcionalidades, virtuosa pela gama de produtos que podem ser explorados, com o reconhecimento mundial por ser um recurso vegetal vital para toda a humanidade. Desse modo, o cultivo do coco concentra-se em muitos países, pois atende à crescente demanda pelos seus subprodutos. No mercado mundial, a utilização destina-se, em sua grande maioria, à produção de copra, por se tratar de uma das melhores formas de aproveitamento da fruta. No entanto, alguns países também utilizam a casca de coco seca como fibra e substrato, tal é o caso da Índia e do Sri Lanka. Os subprodutos também são utilizados na produção de óleo de coco e iguarias (EMBRAPA, 2018).

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) tem origem geográfico-ecológica nas regiões tropicais do Sudeste Asiático, nas ilhas entre os oceanos Índico e Pacífico (Comério et al., 2012). Foi introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses no século XVI, no contexto da colonização e expansão agrícola no Novo Mundo. Acredita-se que os primeiros coqueiros tenham sido plantados na Bahia por volta de 1553, de onde se expandiram para outras regiões litorâneas. No Ceará, o cultivo se estabeleceu posteriormente, principalmente no litoral, onde o clima e os solos arenosos favorecem seu desenvolvimento (EMBRAPA, 2021).

No Brasil, o cultivo do coqueiro destaca-se em comparação à realidade observada em muitos países, não só pelos aspectos econômicos que proporciona, mas sobretudo pelos ganhos sociais e ambientais advindos da exploração sustentável da cultura. Essa cultura encontra condições ambientais bastante favoráveis no país, especialmente nas regiões litorâneas, onde predomina clima tropical úmido, elevada luminosidade, temperaturas médias elevadas e solos arenosos bem drenados, que são ideais para o desenvolvimento da planta. A produção tem conquistado cada vez mais espaço na agricultura brasileira devido à versatilidade da fruta, que é utilizada tanto pela indústria alimentícia, quanto pelas indústrias têxtil, de cosméticos, entre outras (Brasil, 2023).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021), o cultivo do coco no país é uma importante fonte de renda para muitos produtores, com cerca de 220 mil agricultores beneficiados pela cultura, cobrindo, aproximadamente, 280 mil hectares, 80% dos quais são principalmente de plantações distribuídas nas planícies e plataformas da zona costeira do Nordeste. A área é rica em coqueiro gigante, com produtividade média de 30 frutos/planta/ano, e seus produtos são fornecidos para a indústria de produtos agrícolas, para o processamento de polpa e para o mercado de frutas frescas. Vale ressaltar que cerca de 90% da área cultivada com coqueiro está associada a unidades familiares menores que 100 hectares, e 60% a unidades familiares menores que 10 hectares.

Conforme os últimos dados fornecidos pela Divisão estatística da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Faostat, 2021), a área mundial colhida com coco é de 11,8 milhões de hectares, produzindo 62,9 milhões de toneladas. Apenas três produtores, Indonésia, Filipinas e Índia ocupam 73,0% dessa área e participam com 74,1% da produção. O Brasil aparece como o quinto maior produtor, mas sua participação no mercado global é de apenas 3,7%, o que demonstra que a competitividade do país é ínfima. No entanto, destaca-se por possuir o maior rendimento (13.114 kg/ha em 2020 e 12.588 kg/ha em 2021), devido a fatores relevantes, como a tecnologia empregada no cultivo, a condução e o manejo dos coqueirais, além dos sistemas intensivos de produção e das variedades melhoradas do tipo anão e híbrido. Isso proporcionou o aumento da produtividade e promoveu a expansão do cultivo para lugares onde não havia tal tradição (Martins; Jesus Júnior, 2014).

No Brasil, a exploração do cultivo do coco apresenta uma grande evolução na maioria dos estados. Entretanto, sete dos nove maiores produtores de coco encontram-se no Nordeste. Somente essa região é responsável por quase 80% da produção brasileira, com mais de 1.235.042 mil frutos, no ano de 2021. O estado do Ceará é o maior produtor de coco no Brasil, sendo responsável por 21,2% da área e 24,7% de toda a produção do país. O município de Paraipaba (CE) desponta como o maior produtor municipal de coco do Brasil. Esse desempenho se deve, principalmente, ao alto rendimento médio de 24.626 frutos por hectare, resultado da predominância do coqueiro-anão e da grande participação da produção oriunda do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, localizado às margens do Rio Curu e implantado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) (Brainer, 2021).

Outro fator favorável à produção de coco no Ceará está associada a uma expressiva produção, com diversas agroindústrias instaladas no estado, o que facilita a negociação direta, com menores custos de transporte. Ainda, a colheita do coco ocorre em três períodos do ano, o que torna a atividade bastante produtiva. A alta demanda turística no Ceará também colabora para que o consumo de coco seja muito explorado no estado (Moura et al., 2024).

Entre as variedades do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), destacam-se a var. *typyca* (coqueiro-gigante), e var. *nana* (coqueiro-anão) e híbridos, resultado do cruzamento dessas duas variedades. Na maioria dos

países, o coqueiro-anão não possui potencial comercial, sendo utilizado, principalmente, em programas de melhoramento genético. Entretanto, no Brasil, a variedade apresenta destaque na produção de água de coco (Sobral, 2018).

Alves et al. (2014) ressaltam que, na agroindústria do coco, observa-se uma crescente demanda por sua água, especialmente no contexto do consumo urbano, impulsionada por fatores que favorecem as preferências do consumidor. Dessa forma, pode-se considerar que a produção de coco apresenta demanda e potencial de crescimento suficientemente consolidados. No entanto, não é apenas a demanda que viabiliza a participação de muitos produtores, sobretudo agricultores familiares, nessa cadeia produtiva. A inserção desses produtores depende também de fatores estruturantes, como o acesso a sistemas de irrigação, a exemplo do perímetro irrigado Curu-Paraipaba (Costa; Vieira Filho, 2018), de políticas públicas de fomento, como o crédito rural via PRONAF, da assistência técnica adequada (Cruz et al., 2021) e da organização social por meio de cooperativas e associações (Silva; Nunes, 2023).

Assim, quando impulsionada de forma adequada, a produção familiar estimula o desenvolvimento econômico. Aliada às políticas e práticas da gestão, a disponibilidade de recursos financeiros favorece a capacidade de adquirir tecnologias e de escolher o tipo, o nível e a intensidade de uso de insumos e dos fatores de produção. Logo, depreende-se a relevância do crédito agrícola, ao permitir que esses efeitos sejam expandidos, pois enseja a elevação da produtividade e, conseqüentemente, da renda e da geração de emprego agrícola. De acordo com Cohen e Levinthal (1989) apud Costa e Vieira Filho (2018), a produtividade agrícola está associada ao investimento produtivo, uma vez que este cumpre o duplo papel de promover a geração de inovações e, ao mesmo tempo, ampliar a capacidade dos agentes de assimilar, interpretar e aplicar novos conhecimentos ou tecnologias.

2.2 O Pronaf

Os instrumentos de política agrícola desempenham um papel fundamental no fomento à atividade agropecuária no Brasil, ao atuarem diretamente sobre a elevação da produtividade do setor. Entre os principais mecanismos utilizados no país destacam-se o planejamento agrícola, o crédito rural (destinado tanto à agricultura patronal quanto à familiar), a política de garantia de preços mínimos e o seguro rural. Dentre esses instrumentos, o crédito rural se sobressai como uma ferramenta estratégica de incentivo ao investimento produtivo, promovendo a modernização do setor e a incorporação de inovações tecnológicas, o que resulta em expansão da produção e ganhos significativos de produtividade (Costa; Vieira Filho, 2018).

Especificamente, os objetivos da política de crédito rural podem ser organizados em quatro eixos: (i) fomentar os investimentos produtivos tanto na agricultura familiar quanto na de maior escala; (ii) incentivar a adoção de inovações tecnológicas e novos conhecimentos; (iii) apoiar o custeio das atividades agropecuárias e a comercialização da produção; e (iv) viabilizar a aquisição e a regularização fundiária por pequenos produtores. Assim, o crédito rural cumpre funções diversas, contemplando o financiamento de investimentos, como aquisição de máquinas, equipamentos e construção de benfeitorias, o custeio das atividades produtivas, a comercialização e, ainda, a industrialização, especialmente quando vinculada ao beneficiamento realizado por produtores individuais ou por meio de cooperativas (Costa; Vieira Filho, 2018).

Atualmente, o Brasil conta com duas principais políticas de financiamento para o setor rural: o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) (Cruz et al., 2021).

Historicamente, os agricultores familiares, ou como antes chamados “pequenos agricultores”, estavam em segundo plano nas ações do Estado, que focaram no desenvolvimento agrícola, em detrimento do desenvolvimento agrário. Contudo, a criação do PRONAF, em 1995, serviu como fonte para a elaboração de diversas outras políticas diferenciadas voltadas para o desenvolvimento rural, sobretudo com enfoque agrário, que culminaram, em 2006, na regulamentação da Lei da Agricultura Familiar. Essa

reconheceu a categoria social, definiu sua estrutura conceitual e passou a direcionar as políticas públicas para tal grupo social (Grisa; Schneider, 2015).

No entanto, o PRONAF não foi desenvolvido à mera vontade governamental. Tornou-se o fruto de diversas lutas, movimentos sindicais e sociais no campo que ganharam força no período transicional entre a Ditadura e a Redemocratização do país, principalmente no período 1984-1994 (Schneider et al., 2021). Nesse sentido, conforme Schneider et al. (2004), o PRONAF constitui-se com o objetivo de fornecer crédito agrícola e apoio institucional aos pequenos agricultores que, até então, eram esquecidos das políticas públicas vigentes, as quais priorizavam majoritariamente o agronegócio e a agricultura patronal. Essa priorização refletia o modelo de desenvolvimento adotado pelo Estado brasileiro, alinhado à inserção do país no mercado internacional como exportador de *commodities*, o que contribuiu para a marginalização dos agricultores familiares e para o aprofundamento das desigualdades no campo.

O programa contava com uma estruturação de vários instrumentos, como crédito rural, financiamento de infraestruturas e serviços básicos municipais, através da modalidade PRONAF Infraestrutura, além da qualificação dos agricultores familiares e demais atores associados à categoria (Grisa et al., 2014). Mais formalmente, a Resolução nº 4.107, de 28 de junho de 2012, estabelece que o PRONAF visa estimular a geração de renda e a valorização da mão de obra familiar a partir do financiamento de atividades e serviços agropecuários ou não, desenvolvidos em estabelecimentos rurais ou em áreas comunitárias mais próximas. Isso o coloca em um patamar das políticas públicas mais eficazes na área agrícola e social brasileira (MCR 10, 2023; Magalhães et al., 2006).

De acordo com o Manual de Crédito Rural (MCR 10), o PRONAF parte da proposta de financiar atividades agropecuárias em unidades agrícolas familiares, por meio de empréstimos em diversas linhas de crédito, principalmente subsídios e investimentos. Os créditos de custeio cobrem os custos correntes de um ciclo de produção agrícola ou pecuária. Os créditos de investimento são destinados à aquisição de bens ou serviços cuja utilização ocorre por um período mais longo. A taxa de juro pré-fixada aplicável varia em função dos produtos financiados e do grupo a que pertence o requerente. Para ser aprovado, é necessária a Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP), ou inscrição no Cadastro Nacional da Agricultura Familiar do PRONAF (CAF-PRONAF), que qualifica a unidade de produção familiar. O suporte técnico no local é necessário e inclui a preparação de uma estratégia ou projeto técnico, de acordo com os regulamentos oficiais (MCR 10, 2023).

Embora o PRONAF tenha sofrido diversas alterações ao longo dos anos, principalmente no início dos anos 2000, é perceptível que alguns dos problemas são encontrados desde a origem do programa, como a maior destinação de recursos para os agricultores mais consolidados residentes na região Sul do país (Wesz Junior, 2021). Ademais, os financiamentos do PRONAF reproduziram amplamente a lógica da especialização produtiva ao favorecer a promoção da monocultura ligada às grandes cadeias do agronegócio (Fossá et al., 2022; Schneider et al., 2021).

O programa possui diversas categorias (ou grupos), às quais os agricultores se enquadram. O grupo A é formado por agricultores assentados pelo Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) e por beneficiários do Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF). Já o grupo B compreende agricultores familiares com renda bruta anual de até R\$ 20.000,00. Por sua vez, o grupo A/C inclui agricultores que foram originalmente enquadrados no grupo A e que contrataram sua primeira operação de crédito nesse grupo, sem terem contratado financiamento de custeio em outro grupo. Além desses, existem outras modalidades específicas do PRONAF, como o PRONAF Mulher, PRONAF Jovem, PRONAF Mais Alimentos, PRONAF Agroindústria, PRONAF Industrialização de Agroindústria Familiar e PRONAF Semiárido (Maia; Pinto, 2015).

Como citado anteriormente, neste estudo, são avaliados produtores que estão enquadrados no PRONAF B. A operacionalização do PRONAF B conta com o comprometimento de determinadas instituições, em que cada uma se encarrega de uma parte do processo de financiamento das atividades desempenhadas pelos agricultores familiares. Participam o agente financeiro, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE), vinculada à Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Estado

do Ceará (SDA), o Sindicato dos Trabalhadores Rurais (STR) e, normalmente, alguma secretaria municipal (Sousa et al., 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 Base de dados

Esta pesquisa foi realizada a partir da utilização de dados de natureza primária, originados da aplicação de questionários semiestruturados com roteiro pré-definido junto aos agricultores familiares em toda a população de agricultores localizados no município de São Luís do Curu. Dessa forma, foram contabilizados 151 produtores de coco que atendem aos critérios de elegibilidade definidos para o PRONAF B. As entrevistas foram gravadas, transcritas e analisadas com base na técnica de análise de conteúdo, conforme Bardin (2011), permitindo a identificação de categorias temáticas relacionadas ao acesso ao crédito, uso dos recursos e impactos percebidos pelos beneficiários.

As variáveis analisadas no estudo estão descritas na Tabela 1. Nas variáveis de natureza qualitativa, faz-se necessário o uso de métodos que promovam a sua quantificação a partir da construção de valores artificiais (1 se o atributo é presente, 0 se ausente, por exemplo), que são conhecidos na literatura como variáveis *dummy* (Gujarati; Porter, 2011).

Tabela 1 – Relação das variáveis utilizadas na pesquisa

Variáveis	Descrição
Sexo	1 se masculino, 0 se feminino
Idade	Idade dos produtores entre 14 e 70 anos
Pessoas	Número de familiares que residem no local
Propriedade	1 se arrendatário, 0 se proprietário
Bolsa Família	1 se beneficiário, 0 se não beneficiário
Anos de estudo	Quantidade de anos de estudo completo
PRONAF	1 se beneficiário, 0 se não beneficiário
Renda média mensal	Renda (R\$/mês) oriunda da produção de coco
Área	Área medida em hectares (ha)

Fonte: Elaborada pelos autores.

A avaliação do efeito do PRONAF na renda dos produtores de coco foi realizada por meio da comparação dos resultados de dois grupos, são eles: grupo de tratamento, o qual considera as famílias que atendem aos critérios de elegibilidade e são beneficiárias do programa; e grupo de controle, composto pelas famílias que atendem aos critérios de elegibilidade, mas que não são beneficiárias, pois não foram selecionadas por algum motivo. Dessa forma, foram contabilizados 61 produtores no grupo tratado e 90 produtores no grupo controle.

3.2 Estratégia empírica

O método empírico utilizado para analisar o efeito do PRONAF, na renda dos agricultores produtores de coco no Vale do Curu, consiste na aplicação do *Propensity Score Matching* (PSM), ou pareamento por escore de propensão. A metodologia trabalha com um grupo de controle tão similar quanto o grupo de tratamento, em termos de características observáveis. A especificação do grupo de controle é um dos aspectos mais importantes na avaliação do impacto da política no grupo de tratamento (Backer, 2000).

O grupo de controle é composto por agricultores que não aderiram ao PRONAF à época em que a pesquisa foi realizada e deve ser semelhante ao grupo de tratamento (aqueles agricultores que aderiram ao PRONAF). Isto é, são sujeitos que possuem características observacionais (em termos daquelas não afetadas pelo programa) semelhantes aos tratados, em que cada observação constante no grupo de tratamento possui um par que reúne atributos em comum no grupo de controle. Dessa forma, cada agricultor que aderiu ao PRONAF foi relacionado com um agricultor similar que não aderiu, para, então, ser

observada a diferença média nos resultados entre os dois grupos, sendo possível constatar o efeito do programa no grupo tratado.

Esse controle é realizado pelo escore de propensão que, conforme Rosenbaum e Rubin (1983), consiste na probabilidade condicional de adesão no programa de um sujeito i ser tratado, fundamentado em X_i , obtida a partir de métodos não paramétricos, normalmente *logit* ou *probit*. O escore de propensão é ancorado no Teorema do Escore de Propensão, que facilita o pareamento ao diminuir a apenas um escalar, a quantidade de variáveis presentes no vetor X_i .

Tal vetor consiste na probabilidade de adesão ao programa, a partir dos atributos observados. Esse teorema afirma que o escore de propensão será a função escalar de determinado vetor multivariado X_i quando os resultados potenciais são independentes da variável de tratamento condicionada a essa mesma função, caso os resultados potenciais sejam independentes da variável de tratamento condicionada ao vetor multivariado supracitado (Angrist; Pischke, 2009; Rosenbaum; Rubin, 1983).

O estimador do escore de propensão, chamado Efeito Médio de Tratamento sobre os Tratados (ATT), é calculado através da diferença média nos resultados potenciais entre os indivíduos do grupo de controle e do grupo de tratamento. Matematicamente, é descrito como:

$$ATT_{PSM} = \frac{1}{N_T} \left[\sum_{i \in T} Y_{1,i} - \sum_{j \in T} \omega^{(i,j)} Y_{0,j} \right] \quad (1)$$

N_T consiste na quantidade de indivíduos tratados que pertencem à região de suporte comum. É o conjunto de pesos usado para agregar o resultado potencial dos sujeitos do grupo de controle, dependente do escore de propensão do participante i , $P(X_i)$ e do escore de propensão do não – participante j , $P(X_j)$ (Santos, 2020).

Na pretensão de calcular o efeito da adesão ao programa, calcula-se, primeiro, o escore de propensão $P(X)$ baseado em todo o grupo de covariadas observáveis X , capazes de afetar, simultaneamente, a adesão e a variável de interesse. Para tanto, encontra-se um grupo de comparação com maior proximidade, a partir da relação entre uma amostra de controle e uma amostra de tratados do programa. Existem diversos métodos que podem servir para realizar o pareamento, como o Pareamento por vizinho mais próximo (Nearest Neighbor Matching), Pareamento Kernel (Kernel Matching) e o Pareamento por alcance (Radius Matching) (Becker; Ichino, 2002; Santos, 2020). A escolha do método de pareamento mais adequado a cada pesquisa pode ser feita a partir do valor do pseudo R^2 .

É possível que as variáveis não observadas afetem os resultados estimados. Nesse caso, os estimadores do escore de propensão podem se tornar inconsistentes. Isso posto, a omissão de variáveis torna os resultados viesados por meio do efeito médio do tratamento sobre os tratados. Na busca por evitar essa problemática, utiliza-se a análise de sensibilidade a partir do método de Rosenbaum Bounds, capaz de determinar se há influência e a força de uma variável omitida sobre a seleção na participação. Quando há inexistência de viés de seleção no escore de propensão, a probabilidade de participação será estritamente propiciada pelas características observáveis. Em contraponto, na presença de viés de seleção, ocorrerá divergência quanto às chances de recebimento de tratamento em dois indivíduos com as mesmas covariáveis observadas (Rosenbaum, 2002).

A estimativa do Efeito Médio de Tratamento sobre os Tratados (ATT) pode sofrer avanços metodológicos, quando, conjuntamente, aplica-se o método do balanceamento por entropia. Conforme Hainmueller (2012), o balanceamento por entropia é capaz de promover o reponderamento do conjunto de dados (o grupo de controle). Matematicamente, essa nova ponderação é expressa por:

$$E[Y(0)|\widehat{T} = 1] = \frac{\sum_{i|T=0} Y_i \omega_i}{\sum_{i|T=0} \omega_i} \quad (2)$$

em que ω_i representa o peso determinado para cada unidade de controle.

Nesse caso, a determinação do peso para a reponderação é feita a partir da minimização de:

$$H(\omega) = \sum_{i|T=q} h(\omega_i) \quad (3)$$

em que $h(\cdot)$ representa uma métrica de distância, condicionada menor distância contemplada entre as observações (Hainmueller, 2012).

Assim, as distribuições das variáveis nas observações que foram reponderadas satisfazem o leque de condições de momento, de modo que existirá equilíbrio sobre o primeiro, segundo e terceiro momentos (média, variância e assimetria, respectivamente) das distribuições de variáveis independentes nos grupos tratados e não tratados. A eficácia na implementação direta do equilíbrio exato consiste em uma importante vantagem do balanceamento por entropia sobre os algoritmos *logit* e *probit* (Hainmueller, 2012).

Isso denota que vários momentos da distribuição amostral são criados a partir do conjunto de características do grupo tratado e, com a ponderação do grupo de controle, a densidade X dos dois grupos sofre aproximação considerável. Desse modo, diferente do *Propensity Score Matching*, que primeiramente estima os pesos unitários com base em uma distribuição de probabilidade e para depois verificar o ajuste, os pesos são estimados diretamente considerando os momentos amostrais. Esse método permite que o pesquisador especifique um nível de equilíbrio desejável para as covariadas, usando um conjunto de condições associadas aos momentos da distribuição (Hainmueller, 2012). Em vista disso, o balanceamento por entropia permite maior homogeneidade entre os grupos, no tocante às características observáveis (Santos, 2020).

Dessa forma, para estimar o impacto do PRONAF sobre a renda média dos produtores de coco, os pesos obtidos por meio do balanceamento por entropia foram integrados ao método de *Propensity Score Matching*. Essa abordagem visa aprimorar o balanceamento das covariáveis e proporcionar estimativas mais robustas e confiáveis, conforme a metodologia empregada por Watson e Elliot (2016), Costa et al. (2016) e Araújo et al. (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise das estatísticas descritivas dos dados, foi possível estabelecer o perfil dos produtores de coco da região avaliada, em que foram determinadas as características familiares e da propriedade rural. Posteriormente, são demonstrados os resultados do modelo *probit* usado no cálculo do escore de propensão, das estimações do *Propensity Score Matching* e do balanceamento por entropia ao analisar o efeito do PRONAF na renda do agricultor. Por fim, analisa-se o teste de sensibilidade de Rosenbaum Bounds, a fim de detectar o impacto das variáveis omitidas nos resultados estimados.

4.1 Perfil dos produtores de coco do Vale do Curu

A Tabela 2 mostra uma análise exploratória dos dados, em que as variáveis explanadas consistem naquelas utilizadas no modelo *Propensity Score Matching* e no balanceamento por entropia. A estatística descritiva revelou que, conforme a amostra, 62,9% dos agricultores são do sexo masculino, com idade média de 55,6 anos, em que o mais jovem possui 22 anos e o mais velho, 85. Esse dado está em consonância com o processo de envelhecimento da população rural brasileira. Segundo o Censo Demográfico 2022 do IBGE, o índice de envelhecimento – razão entre a população com 60 anos ou mais e a população com menos de 15 anos – no Brasil era de 55,2; no Ceará, esse índice era ainda mais elevado, atingindo 66,5, evidenciando um envelhecimento mais acelerado no estado. Além disso, a PNAD Contínua (2021) mostra que a população ocupada na agricultura tem média de idade superior à média nacional da população ocupada em outros setores. No meio rural, esse envelhecimento ocorre de forma antecipada e mais intensa, refletindo a permanência de pessoas mais velhas e o êxodo de jovens para centros urbanos em busca de melhores oportunidades. Assim, a idade média observada entre os produtores do Vale do

Curu acompanha essa tendência nacional e regional.

A família é composta por até oito pessoas. No geral, só tem o grau primário de escolaridade. A grande maioria, 67,5%, é beneficiária do Bolsa Família. Apenas 39,7% são beneficiados com o PRONAF. Lemos et al. (2020) argumentam que o baixo nível de acesso à assistência técnica e extensão rural é um dos motivos para a reduzida captação de recursos de crédito rural nos estabelecimentos cearenses. De fato, dados do Censo Agropecuário 2017 do IBGE mostram que, no Brasil, apenas 20,1% dos estabelecimentos agropecuários receberam algum tipo de assistência técnica. No Nordeste, essa proporção é ainda menor, de 17,5%, e no estado do Ceará, o percentual cai para apenas 13,6%, demonstrando que o acesso à assistência técnica é especialmente limitado na região. Assim, os produtores do Vale do Curu, mesmo com um percentual superior à média estadual, ainda refletem um cenário de baixa cobertura de apoio técnico em comparação com o restante do país.

Quanto à terra, quase sempre o dono é o proprietário, com propriedades médias de apenas 3,4 ha. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a exploração do coco no Nordeste do Brasil é predominantemente realizada por pequenos produtores, com menos de 10 ha, localizados ao longo do litoral da região. No contexto estadual, o Censo Agropecuário 2017 do IBGE aponta que 72,4% dos estabelecimentos agropecuários do Ceará possuem menos de 10 hectares, com uma média estadual de área por estabelecimento de 21,7 ha. Isso mostra que os produtores de coco do Vale do Curu se enquadram majoritariamente entre os agricultores familiares e operam em unidades produtivas significativamente menores que a média estadual, evidenciando a importância da agricultura de pequena escala na região.

A renda média mensal dos produtores de coco é em torno de R\$ 1.411,76, conforme os dados da amostra. Esse valor é relativamente inferior à média de rendimento mensal dos trabalhadores da agropecuária no Brasil, que foi de aproximadamente R\$ 1.681,00, segundo a PNAD Contínua (IBGE, 2022). No Ceará, o valor foi de R\$ 1.155,00. Embora não haja séries históricas específicas para a renda dos produtores de coco no Vale do Curu, dados do Censo Agropecuário de 2006 e 2017 indicam que, apesar de avanços pontuais em produtividade, a renda bruta da agricultura familiar cearense manteve-se relativamente estável ou cresceu de forma muito lenta, reforçando a persistência de baixos níveis de remuneração.

Além disso, a agricultura familiar representa 77% dos produtores agropecuários no Brasil, mas é responsável por apenas 23% da renda agrícola nacional, segundo dados do Censo Agropecuário de 2017. Essa concentração de renda evidencia as dificuldades enfrentadas pelos pequenos produtores, como acesso limitado a recursos, assistência técnica e capacitação, o que impacta diretamente na sua capacidade de aumentar a produtividade e a renda. Portanto, a baixa renda observada entre os produtores de coco do Vale do Curu reflete uma tendência mais ampla de estagnação econômica na agricultura familiar, especialmente no Nordeste, onde fatores estruturais e institucionais limitam o crescimento da renda agrícola.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Sexo	0,629	0,498	0	1
Idade	55,609	12,309	22	85
Pessoas	3,530	1,653	1	8
Propriedade	0,490	0,662	0	1
Bolsa família	0,675	0,771	0	1
Anos de estudo	4,113	3,631	0	12
PRONAF	0,397	0,490	0	1
Renda	1.411,76	2.972,54	70	20.000
Área	3,454	5,009	0,5	30

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os produtores que têm acesso a financiamento, como o PRONAF ou outras fontes, apresentam

maior chance de serem beneficiados por ações de assistência técnica e extensão rural (ATER). Isso se deve não apenas ao potencial do crédito em ampliar a capacidade produtiva, por meio da aquisição de insumos e tecnologias, mas também ao próprio desenho programático das políticas públicas de ATER no Brasil. Conforme as diretrizes da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) e do Programa Nacional de ATER (PRONATER), os serviços de extensão rural são prioritariamente voltados para agricultores familiares enquadrados no PRONAF. No Ceará, essa lógica é reforçada pelos critérios de elegibilidade dos programas estaduais, como o Projeto São José, em que o acesso ao crédito é frequentemente uma condição ou critério de priorização para recebimento de assistência técnica. Assim, há uma “linha de corte” implícita nos programas de ATER: o agricultor que está formalmente reconhecido como beneficiário do PRONAF, ou seja, que possui a Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP) — hoje substituída pelo Cadastro da Agricultura Familiar (CAF) —, tende a ter maior acesso aos serviços de extensão rural. Essa estrutura institucional acaba por reforçar a exclusão de agricultores não formalizados ou sem acesso ao crédito, perpetuando desigualdades no campo.

4.2 Resultados do modelo *Propensity Score Matching* e do balanceamento por entropia

A Tabela 3 compreende os resultados do modelo *probit* utilizado para determinar o escore de propensão de cada indivíduo, posteriormente empregado no balanceamento por entropia. Esses resultados demonstram as variáveis que afetam a probabilidade de o indivíduo ser do grupo de tratamento, isto é, beneficiário da política de crédito.

Assim como em Alencar et al. (2018), realizou-se apenas a análise do sinal dos coeficientes estatisticamente significantes, determinando se a variável apresenta influência negativa ou positiva. Observa-se que as variáveis referentes à posse de terra, participação no Programa Bolsa Família e dimensão da área plantada foram, estatisticamente, significantes a pelo menos 10% de significância. Isso representa que as demais variáveis analisadas nesta pesquisa são indiferentes, ou não garantem aumento ou redução quanto à probabilidade de adesão ao PRONAF. O sinal negativo nas três variáveis significantes indica que, caso o agricultor seja arrendatário da terra, receba o Bolsa Família e quanto maior for sua área plantada, menores serão as probabilidades de adesão ao PRONAF.

Tabela 3 – Coeficientes estimados pelo modelo *probit* para identificação dos fatores que influenciam a probabilidade de adesão ao PRONAF

Variáveis	Coefficiente	Desvio padrão	P> z
Sexo	0,384	0,234	0,101
Idade	-0,003	0,010	0,761
Pessoas	-0,036	0,069	0,602
Propriedade	-0,056	0,004	0,000*
Bolsa família	-0,461	0,228	0,043*
Anos de estudo	0,013	0,033	0,698
Área	-0,069	0,028	0,014*
Constante	-0,725	0,743	0,329
N° obs. = 151		Prob > chi2 = 0,0029	Log likelihood = -90,618

*Estatisticamente significantes a menos de 10%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se que, mesmo após o pareamento, o número de observações permanece inalterado (151 observações, em que 61 compreendem o grupo tratado e 90 estão inseridas no grupo de controle). Isto é, o escore de propensão de todos os indivíduos beneficiados com o PRONAF estão próximos do escore de propensão dos indivíduos presentes no grupo de controle (não beneficiados) (Tabela 3). Após o cálculo da probabilidade de adesão ao programa segundo os atributos de cada agricultor, é realizado o pareamento dos elementos compreendidos no grupo tratado e no grupo de controle a partir do método do vizinho mais próximo (pseudo $R^2 = 0,107$). Prontamente, são obtidos os resultados do impacto do PRONAF na renda (R\$/mês) dos agricultores beneficiados. A Tabela 4 é responsável por unir tais resultados.

Tabela 4 – Efeito Médio de Tratamento sobre os Tratados (ATT)

Variável	Amostra	Tratado	Controle	Diferença	S.E.	T-stat
Renda	Sem <i>matching</i>	2.405,92	756,28	1.649,63	477,22	3,46
	ATT	2.405,92	782,50	1.623,42	823,67	1,97

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme a Tabela 4, é verificada a existência de uma diferença positiva e significativa entre os grupos de tratamento e controle. Antes do *matching*, o grupo de agricultores beneficiários do PRONAF apresentou renda média de R\$ 2.405,91/mês, ao passo que o grupo que compreende os agricultores que, por algum motivo, não recebeu o PRONAF em 2019, possui renda de R\$ 756,28 mensais. Ou seja, uma diferença de R\$ 1.649,63 entre os grupos. Constata-se que a renda dos agricultores beneficiários não sofre alterações após o *matching*, enquanto a renda dos agricultores não beneficiários apresentou leve aumento, para R\$ 782,50. Dessa forma, a diferença entre os grupos baixou para R\$ 1.623,42, porém, ainda se manteve expressiva. Esse resultado é intuitivo, uma vez que, tendo acesso ao crédito, o produtor dispõe de recursos para custeio e investimento nas atividades agrícolas, o que tem impacto direto na sua renda.

Em termos anuais, essa diferença entre os grupos equivale a um incremento de cerca de R\$ 19.500,00. Esse impacto é relevante ao observar o perfil socioeconômico da amostra: agricultores com baixa escolaridade, pequena escala produtiva (média de 3,4 hectares) e considerável dependência de programas de transferência de renda, como o Bolsa Família, recebido por 67,5% dos entrevistados. Assim, o PRONAF B não apenas contribui para o aumento da renda imediata, mas também tem o potencial de melhorar a capacidade de investimento produtivo, reduzir a vulnerabilidade social, aumentar a segurança alimentar e promover maior autonomia econômica entre os produtores de coco no Vale do Curu.

A análise do viés de seleção é realizada a partir dos resultados mostrados na Tabela A1, disponível na seção reservada ao apêndice. O teste verificou a robustez dos resultados com base na premissa de que as variáveis omitidas causam impactos nos resultados estimados. Conforme a Tabela A1, não existem variáveis não observáveis afetando a seletividade do grupo de tratamento e, em consequência, causando impactos nos resultados, dado que os valores ($\Gamma=1$ até $\Gamma=1,3$) foram estatisticamente significantes a pelo menos 5% de significância, o que valida os resultados encontrados no PSM. Portanto, não é necessário o uso da técnica de correção pelo viés mínimo e viés corrigido.

Adicionalmente, na busca da confirmação dos resultados obtidos para o impacto do PRONAF na renda dos produtores, é utilizado o método de balanceamento por entropia para a realização do pareamento dos indivíduos no grupo de tratamento e no grupo de controle. Nesse caso, o objetivo do balanceamento consiste na obtenção de pesos que minimizem as desigualdades entre os produtores de coco que foram contemplados com o PRONAF e o grupo de controle (Tabela 5).

Tabela 5 – Distribuição estatística das covariáveis antes e após o balanceamento por entropia

Variáveis	Tratamento			Controle		
	Média	Variância	Assimetria	Média	Variância	Assimetria
Amostra não balanceada						
Sexo	0,733	0,233	-0,590	0,560	0,249	-0,243
Idade	55,720	162,200	-0,071	55,540	146,100	-0,615
Pessoas	3,333	1,989	0,563	3,659	3,205	0,579
Terra	1,433	0,589	1,588	1,527	0,341	-0,444
Bolsa Família	0,867	1,067	5,482	0,549	0,250	-0,199
Anos de estudo	4,233	14,790	0,855	4,033	12,250	0,847
Área	5,100	50,900	2,175	2,368	5,449	2,838
Amostra balanceada						
Sexo	0,733	0,233	-0,590	0,733	0,198	-1,055
Idade	55,720	162,200	-0,071	55,720	184	-0,598

Variáveis	Tratamento			Controle		
	Média	Variância	Assimetria	Média	Variância	Assimetria
Pessoas	3,333	1,989	0,563	3,333	3,055	0,697
Terra	1,433	0,589	1,588	1,433	0,345	0,243
Bolsa Família	0,867	1,067	5,482	0,866	0,117	-2,148
Anos de estudo	4,233	14,790	0,855	4,233	12,760	0,890
Área	5,100	50,90	2,175	5,097	16,440	0,818

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme a Tabela 5, a eficácia do balanceamento por entropia é revelada a partir das médias dos atributos de pré-tratamento do grupo tratado com as do grupo de controle. O balanceamento está perfeitamente ajustado para a média, variância e assimetria, que compreendem os três primeiros momentos da distribuição das covariáveis. Dessa forma, são obtidas as estimativas referentes ao impacto do programa na renda dos produtores via balanceamento por entropia. As referidas estimativas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Impacto do PRONAF na renda dos produtores de coco em 2019

Renda	Coefficiente	Desvio padrão	t
PRONAF	4269.724	173.739	2.45
Constante	2832.889	1.672.187	1.69

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados obtidos através desse segundo método mostram o impacto positivo e significativo de pelo menos 5% de significância do PRONAF na renda dos produtores de coco do Vale do Curu, corroborando com as estimativas encontradas via *Propensity Score Matching*. Assim, em 2019, os produtores beneficiários do programa possuíam renda, em média, de R\$ 4.269,72 mensais, ao passo que os produtores não beneficiários apresentaram renda média de R\$ 2.832,89 mensais (Tabela 6).

Resultados próximos aos encontrados nesta pesquisa são vistos na literatura. Batista e Neder (2014), ao analisarem os efeitos do PRONAF sobre a pobreza rural no Brasil no período de 2001-2009, constataram que os empréstimos concedidos pelo programa foram, estatisticamente significantes para a elevação da renda domiciliar *per capita* e para a diminuição da desigualdade de renda aferida pelo Índice de Gini. Ademais, os autores também observaram que há heterogeneidade entre as unidades de observação, quanto ao efeito do referido programa sobre a renda, desigualdade de renda e pobreza, pois seu efeito possui relações com as características socioeconômicas das unidades federativas.

Contudo, Kageyama (2003) constatou que o recebimento do PRONAF não foi capaz de causar impactos significativos na renda de 996 agricultores beneficiários de 21 municípios em oito estados brasileiros no ano de 2001, pois não houve diferenças significativas entre os grupos tratados e não tratados naquele estudo. A autora pondera, no entanto, que o recorte de apenas um ano de análise pode não ser suficiente para determinar o real impacto de uma política nas variáveis pertinentes à produção e à qualidade de vida dos agricultores.

Damasceno et al. (2011), ao analisarem a contribuição do PRONAF para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no estado do Ceará, notaram que o referido programa teve impacto positivo, mas não significativo sobre a renda dos agricultores beneficiados, além da ocorrência de efeito positivo na geração de emprego, sendo o Bolsa Família e a aposentadoria fontes de renda de destaque entre os beneficiários e não beneficiários do programa, respectivamente.

Sousa et al. (2013), ao avaliarem o efeito do PRONAF, verificaram que, pela perspectiva dos agricultores, o PRONAF B contribuiu para a melhoria de suas condições de vida, mesmo que não integralmente. Contudo, foi verificado que a grande maioria desses agricultores não recebeu qualquer tipo de assistência técnica ou capacitação voltadas para as atividades financiadas, sendo importante um posicionamento afirmativo do programa nesse sentido. Além disso, foi visto que quase todas as famílias agricultoras eram também beneficiárias do Programa Bolsa Família. No entanto, não foi realizada nenhuma ação desse programa a fim de garantir apoio às atividades produtivas.

Embora os resultados obtidos sejam robustos e derivados de uma estratégia empírica criteriosa, é importante reconhecer limitações que podem influenciar a interpretação dos achados. Em primeiro lugar, existe o risco de endogeneidade entre as variáveis explicativas principais (como adoção de tecnologia, capacitação técnica ou associativismo) e a renda dos produtores. Assim, é possível que produtores com maior renda ou características não observáveis, como motivação empreendedora, capacidade de gestão, acesso a redes de conhecimento ou apoio institucional informal, estejam mais propensos a adotar práticas mais avançadas, o que poderia gerar viés de variável omitida. Apesar do controle por variáveis observáveis e do uso de modelos econométricos robustos, não foi possível eliminar completamente essa possibilidade. Assim, recomenda-se cautela na inferência causal dos resultados. Estudos futuros poderiam empregar painéis com dados longitudinais ou técnicas como variáveis instrumentais para abordar essas limitações de maneira mais direta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do grande potencial e dos resultados econômicos, sociais, culturais e ambientais, foi somente em 2006 que, no Brasil, a agricultura familiar começou a ser reconhecida como segmento produtivo, garantindo o estabelecimento de políticas públicas específicas. Como resultado desse reconhecimento, o PRONAF Grupo B foi instaurado com o propósito de combater a pobreza nas áreas rurais, sendo identificado como uma importante ferramenta de apoio à população de agricultores familiares. Desde então, o programa tem crescido significativamente em volume de recursos financeiros e número de contratos assinados.

Este trabalho procurou avaliar os efeitos do PRONAF B sobre a renda dos produtores de coco do Vale do Curu, contribuindo com a literatura em vista dos poucos estudos existentes nesse tema. Para tanto, foram utilizados dados de origem primária, resultantes da aplicação de questionários semiestruturados junto aos agricultores familiares. O pressuposto assumido foi o de que a participação no PRONAF aumentava a renda dos agricultores familiares. A metodologia aplicada na avaliação de impacto foi o *Propensity Score Matching* e o balanceamento por entropia, amplamente utilizada e reconhecida na literatura de avaliação pela capacidade de medir os impactos reais atribuíveis a políticas públicas.

Na análise das características pessoais e socioeconômicas dos agricultores que podem influenciar o acesso ao PRONAF, destaca-se a maior presença de agricultores homens, com idade média acima dos 50 anos, com baixo grau de escolaridade, que geralmente cultivam em suas próprias terras. Os resultados do *Propensity Score Matching* mostraram que o PRONAF desencadeia efeito positivo e significativo na renda dos agricultores. Tais dados também são encontrados por outros estudos desenvolvidos tanto para o estado do Ceará quanto para outras regiões no país, em que um dos aspectos evidenciados é a falta de assistência técnica e acompanhamento dos agricultores beneficiados.

Os resultados deste estudo mostram que o PRONAF B tem um efeito positivo na renda dos agricultores familiares, embora o impacto não seja uniforme para todos os grupos. Essa descoberta é fundamental para reorientar a política pública, principalmente no que diz respeito à complementação do crédito com assistência técnica de qualidade. A simples oferta de crédito não é suficiente para maximizar o potencial de aumento de renda; é necessário um suporte contínuo para capacitação tecnológica e gestão agrícola.

Portanto, a política poderia ser reconfigurada para incluir mais recursos direcionados à capacitação e acompanhamento técnico, ajustando-se às necessidades específicas de cada tipo de agricultor. Essa ação ajuda a garantir que os recursos financeiros do PRONAF sejam usados de forma mais eficiente, maximizando o retorno para as famílias atendidas. Além disso, os dados apontam para a necessidade de agilidade na liberação de créditos e de ampliar a acessibilidade das comunidades mais remotas, o que também pode ser considerado para uma efetiva reorientação do PRONAF, aumentando a inclusão social e econômica dos pequenos produtores.

Na busca por reduzir os desencontros entre a política de crédito e os demais constituintes da política agrícola, faz-se importante a melhoria do nível e da qualidade da assistência técnica prestada, buscando fornecer um incentivo significativo para investir em tecnologia, aumentar a produtividade das atividades

agrícolas e, dessa maneira, aumentar a renda dos produtores.

Ademais, o coco é um fruto expressivamente encontrado no Brasil. Quanto ao coqueiro -anão, especificamente, sua utilização industrial está focada apenas na produção e beneficiamento da água. Entretanto, tal cultura possibilita pleno potencial para a exploração em outros segmentos de mercado. Isso será fortalecido com a ação conjunta de pesquisa e inovação, de modo a agir na promoção de novos nichos de mercado, o que, conseqüentemente, acarretará a valorização do produto e a elevação da renda dos agricultores. Dada a relevância do segmento da agricultura familiar, sugere-se a efetivação de estudos mais abrangentes, com o objetivo de consolidar regionalmente os resultados aqui apresentados, a fim de reorientar essa política pública, que é o elo de fortalecimento de tal segmento.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. O.; JUSTO, W. R.; ALVES, D. F. Os efeitos do programa uma terra e duas águas (P1+2) sobre a qualidade de vida do pequeno produtor rural do semiárido nordestino: o caso do município de Jardim (CE). **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 49, n. 1, p. 165–180, 2018. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/557>. Acesso em: 28 ago. 2023.

ALVES, C. O. M.; CAMPOS, K. C.; LIMA, P. V. P. S.; SOUSA, E. P. Perfil técnico e econômico da produção de coco irrigado no Ceará. **Revista de Política Agrícola**. v. 23, n. 1, 2014.

ANGRIST, J.; PISCHKE, J. S. **Most Harmless Econometrics: an empiricist's companion**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2009.

ARAÚJO, J. A.; ALENCAR, M. O.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Crédito rural e agricultura familiar no Brasil: uma avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. **Redes. Santa Cruz do Sul**, v. 25, p. 2009-2034, 2020. Edição especial 2.

BACKER, J. **Evaluating the impact of development projects on poverty: a handbook for practitioners**. Washington: The World Bank, p. 203, 2000.

BATISTA, H. R.; NEDER, H. D. Efeitos do PRONAF sobre a pobreza rural no Brasil (2001-2009). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, p. 147-166, 2014.

BECKER, S.; ICHINO, A. Estimation of average treatment effects based on propensity scores. **The Stata Journal**, v. 2, n. 4, p. 358-377, 2002.

BNB - Banco do Nordeste do Brasil. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/agroamigo/>. Acesso em: 11 de ago. de 2023.

BRAINER, M. S. C. P.; XIMENES, L. F. Produção de coco: soerguimento das áreas tradicionais do Nordeste. **Caderno Setorial Etene**, Fortaleza, v. 127, n. 5, p. 1-15, out. 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Perímetro Irrigado de São Gonçalo, na Paraíba, produz mais de 1 milhão de cocos por mês**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/perimetro-irrigado-de-sao-goncalo-na-paraiba-produz-mais-de-1-milhao-de-cocos-por-mes>. Acesso em 17 ago. 2023.

COMÉRIO, E. F.; ONODY, H. C.; BENASSI, V. L. R. M. Levantamento da Fauna de Ichneumonidae (Hymenoptera) em Cultivo de Coqueiro Anão Verde associado às plantas invasoras. **EntomoBrasilis**,

Vassouras-RJ, v. 5, n. 2, p. 109-114, 2012.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R&D. **The Economic Journal**, v. 99, p. 569-596, Sept. 1989.

COSTA, E.M.; VIEIRA FILHO, J.E.R. Choque de oferta no crédito rural e seu impacto produtivo na agricultura brasileira. In: SACHSIDA, A. (Org.). **Políticas públicas: avaliando mais de meio trilhão de reais em gastos públicos**. Brasília: Ipea, 2018. p. 209-224.

CRUZ, N. B. et al. Acesso da agricultura familiar ao crédito e à assistência técnica no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.l.], v. 59, n. 3, 2021.

DAMASCENO, N. P; KHAN, A. S; LIMA, P. V. P. S. O impacto do PRONAF sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.l.], v. 49, n. 1, p. 129-156, 2011.

DEL GROSSI, M. Agricultura familiar no Censo Agropecuário 2006, Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Belo Horizonte: **SOBER**, 2011.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) **Crops and livestock products**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 18 ago. 2023.

FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Elsevier Brasil, 2017.

FOSSÁ, J. L; MATTE, A; MATTEI, L. F. A trajetória do PRONAF: análise das operações de crédito nos municípios brasileiros entre 2013 e 2020. **Extensão Rural**, v. 29, n. 1, p. 1-27, 2022.

GRISA, C.; SCHNEIDER, S. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e estado no Brasil. **RESR**, Piracicaba-SP, Vol. 52, Supl. 1, p. S125-S146, 2014 – Impressa em Fevereiro de 2015.

GRISA, C; WESZ JUNIOR, V. J; BUCHWEITZ, V. D. Revisitando o PRONAF: velhos questionamentos, novas interpretações. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, p. 323-346, 2014.

GUJARATI, D. N; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh Editora, 2011.

HAINMUELLER, J. Entropy Balancing for Causal Effects: A Multivariate Reweighting Method to Produce Balanced Samples in Observational Studies. **Political Analysis**, v. 20 n.1, p. 25-46, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados Definitivos**, Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 22 ago. 2023.

KAGEYAMA, A. Produtividade e renda na agricultura familiar: efeitos do PRONAF-crédito. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 1-13, 2003.

MCR - MANUAL DE CRÉDITO RURAL. **Capítulo 10:** Atualização MCR nº 721, de 1º de agosto de 2023. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/mcr/completo>. Acesso em 18 ago. 2023.

LEMOS, J. J. S. et al. Agricultura familiar no Ceará: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, p. 93-112, 2020.

MAGALHÃES, A. M. et al. A experiência recente do PRONAF em Pernambuco: uma análise por meio de propensity score. **Economia Aplicada**, v. 10, n. 1, p. 57-74, 2006.

MAIA, G.B. da S.; PINTO, A. de R. Agroamigo: uma análise de sua importância no desempenho do PRONAF B. **Revista Econômica do Nordeste**, v.46, p.9-20, 2015. Suplemento especial.

MARTINS, C. R, JESUS JÚNIOR, L. A. DE. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 51 p. Disponível em <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 09 out. 2022. Acesso em: 29 jul. 2023.

MATTEI, L. **Impactos do PRONAF: análise de indicadores**. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural - NEAD, 2005.

MOURA, N. S. P. et al. Impacto do coco híbrido na produção rural no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 18, n. 2, p. 176-198, 2024.

PASSOS, A. T. B; KHAN, A. S. O impacto do PRONAF sobre a sustentabilidade agrícola de agricultores familiares na microrregião do Vale do Médio Curu, no estado do Ceará. **Economia Aplicada**, v. 23, n. 4, 2019.

PEREIRA, S. E.; FIGUEIREDO, A. S.; LOUREIRO, P. R. A. Avaliação do impacto da utilização de crédito, da educação e da escolha do canal de comercialização na horticultura: caso do núcleo rural do Distrito Federal. **Revista de Estudos Regionais**, vol. 44, n. 4, 773-799, 2006.

ROSENBAUM, P. **Observational Studies**. 2nd edition. New York: Springer, 2002.

ROSENBAUM, P.; RUBIN, R. The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. **Biometrika**, v. 70, n.1, p. 41-55, 1983.

SANTOS, A. C. F. **Ensaio sobre o Índice de Desenvolvimento Educacional dos alunos da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SILVA, D. M. O. B. da et al. PRONAF: uma avaliação da distribuição regional dos contratos de crédito e seus impactos sobre o desenvolvimento rural do Nordeste brasileiro. **OKARA: Geografia em Debate**, v. 11, n. 2, p. 376-396, 2017.

SCHNEIDER, S., CAZELLA, A., MATTEI, L. Histórico, caracterização e dinâmica recente do PRONAF-Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. *In*: SCHNEIDER, S., SILVA, M. K. MARQUES, P. E. M. (Orgs.) **Políticas públicas e participação social no Brasil rural**. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS, 2004. p. 21-49.

SILVA, R. M. A.; NUNES, E. M. Agricultura familiar e cooperativismo no Brasil: uma caracterização a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 2, 2023.

SCHNEIDER, S.; CAZELLA, A.; MATTEI, L. Post scriptum ao artigo “Histórico, caracterização e dinâmica recente do PRONAF –Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar”. **Revista Grifos**, Chapecó, v. 30, n. 51, p. 42-67, jan./abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22295/grifos.v30i51.5660>. Acesso em: 18 ago. 2023

SOBRAL, L. F. (ed.). **Coco: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 195 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

SOUSA, J. M.P; MONTE, F. S. S; PAULA, L. A. M. Avaliação dos efeitos do PRONAF B na renda da agricultura familiar. **Oikos: Família e Sociedade em Debate**, v. 24, n. 1, p. 153-176, 2013.

TELES, M. L. C. **Impacto do PRONAF na produção agrícola dos municípios cearenses**. 2007. 83f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Programa de Pós-graduação em Economia, CAEN, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

WESZ JUNIOR, V. J. O PRONAF pós-2014: intensificando a sua seletividade? **Revista Grifos**, Chapecó, v. 30, n. 51, p. 89-113, jan./abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22295/grifos.v30i51.5353>. Acesso em: 18 ago. 2023.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE (ROSENBAUM BOUNDS)

Gamma	sig+	sig-	t-hat+	t-hat-	CI+	CI-
1	0	0	97,5	97,5	93,0	102,0
1.05	0	0	95,5	99,5	91,0	104,5
1.1	0	0	93,5	101,5	89,0	107,0
1.15	0	0	91,5	104,0	87,5	109,0
1.2	0	0	90,0	106,0	86,0	111,0
1.25	0	0	88,5	108,0	84,0	113,0
1.3	0	0	87,0	109,5	83,0	115,0

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

EFICIÊNCIA TÉCNICA E DESAFIOS NO SANEAMENTO BÁSICO DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DEA (2015-2019)

Technical Efficiency and Challenges in Sanitation in the Brazilian Northeast: A DEA Analysis (2015-2019)

Ariel Matias de Sales Azevedo

Economista. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival Melo Mota, S/N Tabuleiro do Martins, 57072-900, Maceió, Alagoas, Brasil. ariel.azevedo@feac.ufal

Verônica Nascimento Brito Antunes

Economista. Doutora em Políticas Públicas e Desenvolvimento. Professora do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Alagoas e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rodovia BR 465, Km 07, Zona Rural, Seropédica, RJ, Brasil. CEP: 23890-000. veronicanbatunes@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência técnica das companhias regionais de saneamento básico nos estados do Nordeste, no período de 2015 a 2019. A metodologia utilizada para essa análise foi a DEA, e os dados foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). O estudo detalhou os resultados referentes aos outputs do modelo construído e identificou as áreas em que as companhias precisam melhorar para atingir a eficiência técnica desejada. Foi constatado que a variável com maior impacto para o aumento da eficiência foi o número de ligações ativas de esgoto. Os resultados indicaram que apenas três das nove companhias regionais foram consideradas eficientes ao longo de toda a série histórica, o que evidencia a necessidade de melhorias no setor de saneamento no Nordeste. Diante disso, torna-se clara a importância de aumentar os investimentos e despesas nesse setor, em consonância com a proposta de viabilização da participação do setor privado no setor de saneamento trazida pelo Novo Marco.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados, DEA, Saneamento básico no Nordeste.

Abstract: This study aimed to analyze the technical efficiency of regional basic sanitation companies in the Northeast state of Brazil from 2015 to 2019. The DEA (Data Envelopment Analysis) methodology was used for this analysis, and the data was obtained from the National Sanitation Information System (SNIS). The study provided detailed results regarding the outputs of the constructed model and identified the areas in which the companies need to improve to achieve the desired technical efficiency. It was found that the variable with the greatest impact on efficiency improvement was the number of active sewer connections. The results indicated that only three out of the nine regional companies were considered efficient throughout the entire historical period, highlighting the need for improvements in the sanitation sector in the Northeast. Therefore, it becomes clear the importance of increasing investments and expenses in this sector, in line with the proposal to promote private sector participation in sanitation brought by the New Sanitation Framework.

Keywords: Basic Sanitation, Data Envelopment Analysis, DEA, Sanitation in the Northeast, Public Policies, New Sanitation Framework.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um direito fundamental que impacta diretamente a saúde pública, a qualidade de vida e o desenvolvimento socioeconômico das populações. No Brasil, a Região Nordeste enfrenta desafios históricos nesse setor, caracterizados por baixos índices de cobertura e eficiência operacional.

A análise de desempenho das companhias de saneamento básico no Nordeste é essencial para compreender as disparidades regionais e propor soluções que promovam a equidade no acesso a serviços essenciais. Pretende-se contribuir para o debate sobre a melhoria da gestão pública e a implementação de políticas que atendam às necessidades da população nordestina.

A eficiência técnica das companhias de saneamento básico é um fator para a melhoria desses índices. A Análise por Envoltória de Dados (DEA) surge como uma ferramenta para avaliar e comparar a eficiência relativa das unidades de decisão, considerando múltiplos insumos e produtos sem a necessidade de especificar uma função de produção paramétrica. Essa metodologia permite identificar as melhores práticas e áreas de melhoria, fornecendo subsídios para políticas públicas mais eficazes.

O presente estudo visa analisar a eficiência técnica das companhias regionais de saneamento básico no Nordeste brasileiro no período de 2015 a 2019, utilizando a metodologia DEA. A pesquisa busca não apenas avaliar o desempenho das empresas, mas também identificar variáveis críticas, como o número de ligações ativas de esgoto, que impactam diretamente na eficiência operacional. Além disso, o estudo discute as implicações dos resultados para a formulação de políticas públicas e a necessidade de investimentos no setor, alinhados às diretrizes do Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que visa universalizar o acesso aos serviços de água e esgoto até 2033.

A Constituição Federal brasileira estabelece a saúde como um direito público e o saneamento básico como dever comum entre todas as esferas do poder público. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade urgente de investimentos e intervenções no setor de saneamento básico, visando à universalização do acesso e à melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O saneamento básico no Brasil configura-se como um dos principais desafios estruturais do setor público, impactando diretamente a saúde pública e o meio ambiente. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2001) revelam que, em 2000, aproximadamente 54% da população brasileira tinha acesso ao abastecimento de água, número que aumentou para 59% em 2019, representando um crescimento absoluto de 95 milhões para 126,4 milhões de pessoas atendidas. No entanto, a situação relativa ao esgotamento sanitário é ainda mais preocupante, apenas 22% da população tinha acesso a esse serviço, percentual que subiu para 35% em 2019 (SNIS, 2020). Isso significa que dois terços da população brasileira ainda descartam seus dejetos de forma inadequada, contribuindo para a poluição ambiental, especialmente nos lençóis freáticos e águas subterrâneas.

A Região Nordeste apresenta índices alarmantes: em 2019, 70,1% da população tinha acesso ao abastecimento de água, enquanto apenas 24,74% dispunham de esgotamento sanitário (ANA, 2020). Essa disparidade contribui para a contaminação das águas pluviais, superficiais e dos lençóis freáticos, uma vez que o esgoto sanitário sem coleta e tratamento adequados é frequentemente descartado nesses locais (TERA, 2017).

Investimentos no setor de saneamento básico são fundamentais para prevenir doenças que afetam diretamente o setor de saúde (ANA, 2017). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), para cada dólar investido em saneamento básico, economiza-se até quatro no setor de saúde.

É fato que o saneamento básico como monopólio natural tem um alto custo inicial de investimento no capital fixo e na manutenção de sua infraestrutura. O monopólio natural possui, como uma de suas principais características, um alto custo fixo inicial de investimento e um baixo custo marginal de produção, além de apresentar algumas falhas de mercado, sendo a principal delas a ineficiência no sentido de Pareto (Varian, 2015, p. 644).

Além da característica de monopólio natural, o setor de saneamento apresenta um longo tempo de retorno financeiro para os projetos, o que reduz o incentivo para financiamento tanto por parte do setor privado quanto do setor público (Turolla, 2003). Isso acaba afastando o setor privado do financiamento, em contraste com o setor público, uma vez que os retornos demoram a serem percebidos pela população. Por motivos políticos, os investimentos no setor acabam sendo postergados.

O setor de saneamento demanda consideráveis investimentos financeiros e um longo período de tempo para alcançar a universalização do saneamento básico - uma realidade já conquistada pelos países de alta renda. Para países que ainda buscam universalizar o saneamento, como o Brasil, o cenário é particularmente desafiador. A gestão do saneamento com base inteiramente em sistemas públicos pode ser problemática. Além das altas demandas de investimento, tais países geralmente enfrentam restrições fiscais que complicam ainda mais a realização dos investimentos necessários. No Brasil, a situação é agravada pela baixa eficiência e pelas grandes perdas nos sistemas de saneamento em operação, pela natureza monopolista do setor de saneamento, bem como pelas questões de escala e das dificuldades estruturais enfrentadas pelos municípios, incluindo alto endividamento, infraestrutura insuficiente, base tributária limitada e fragilidades de gestão (Turolla, 2003; Kuwajima, 2020).

Para atingir a universalização do atendimento ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, foi aprovada a Lei Federal nº 14.026 no ano de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento. O novo Marco do Saneamento alterou um conjunto de leis referentes aos recursos hídricos e saneamento com o intuito de melhorar a regulação nesse setor. As novas alterações conferiram competência à Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) para criação de normas relacionadas ao manejo de resíduos sólidos, drenagem de águas pluviais, metas de universalização do saneamento, redução da perda de água, regulação tarifária, entre outros aspectos. Outro ponto importante a ser salientado é que o novo Marco facilitou as Parcerias Público-Privadas (PPPs) ao mesmo tempo em que orientou a meta de cobertura de 99% de atendimento de água e 90% na captação e tratamento de esgoto até 2033 (ANA, 2020).

Além disso, a empresa vencedora da licitação deve demonstrar que seu projeto tem viabilidade financeira, ou seja, que ela poderá se manter sem ajuda financeira direta do Estado. Vale lembrar que o setor de saneamento básico tem uma estrutura de monopólio natural, sendo assim, mesmo com a concessão do setor para iniciativa privada, o governo manteve o direito de monopólio para a empresa vencedora do contrato. Por essa razão, nasce a necessidade de uma forte regulação do Estado via ANA (BRASIL, 2020).

Diferentemente do setor privado, as empresas públicas atuam com o objetivo de atender às demandas da população e não apenas visando ao lucro como indicador de eficiência. Para acompanhar essa atuação, o Governo Federal coleta e divulga anualmente dados sobre saneamento no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Além dos dados agregados e desagregados sobre saneamento, existem indicadores¹ que são utilizados como guias na gestão das companhias e autarquias. Mesmo após a concessão do monopólio da distribuição de água para o setor privado, esses indicadores devem ser levados em consideração. No entanto, é importante ressaltar que a simples melhora desses indicadores não garante a plena eficiência dos recursos. Como boa parte dos monopólios naturais, o ramo do Saneamento Básico é marcado com os altos custos fixos no capital inicial. A consequência dessa característica é o dilema entre eficiência produtiva e eficiência alocativa, além do baixo incentivo ao investimento. E é por este motivo que boa parte do mundo organiza o seu sistema de Saneamento Básico na gestão pública (Turolla, 2003).

2.1 A análise envoltória de dados aplicada ao saneamento

Com o intuito de analisar a metodologia DEA na prática, foi realizada uma breve revisão da literatura brasileira sobre o tema. A dissertação de Castro (2003) foi a principal influência deste trabalho, devido a questões metodológicas. Seu principal objetivo era avaliar a aplicabilidade da metodologia DEA no setor de saneamento básico. A análise foi conduzida utilizando dados de 71 concessionárias de serviços

¹ Os indicadores em questão são: IN013 - Índice de perdas de faturamento; IN049 - Índice de perdas na distribuição; IN050 - Índice bruto de perdas lineares; IN051 - Índice de perdas por ligação.

de água e esgoto com o maior número de ligações ativas no país. A seleção considerou as empresas que possuíam um mínimo de 30 mil ligações ativas de água. Embora pareça um critério arbitrário, essa amostra representou aproximadamente 85% da população do país na época. Foram utilizados quatro indicadores de desempenho (volume de água consumido, extensão da rede, quantidade de ligações ativas de água e esgoto) como saídas, e as despesas de exploração como entrada.

As conclusões da pesquisa foram satisfatórias, demonstrando que o modelo DEA possui um alto poder discriminatório na identificação das principais empresas eficientes. Além disso, sua facilidade de uso em comparação com os modelos econométricos tradicionais e sua compreensibilidade, mesmo para os menos familiarizados com a área, foram destacadas. Como sugestão para estudos futuros, foi proposta a análise de diferentes períodos, levando em consideração a natureza jurídico-administrativa ou a região de atuação no Brasil.

A dissertação de Carmo (2003) teve o mesmo objetivo de identificar as empresas regionais de abrangência mais eficientes, porém, utilizou variáveis diferentes na modelagem e considerou tanto o modelo de retorno constante de escala (DEA-C) quanto o modelo de retorno variável de escala (DEA-V). Como entradas, foram utilizadas quatro variáveis: mão de obra, volume de água produzido, volume de esgoto coletado, extensão da rede de água e extensão da rede de esgoto. Como saídas, foram consideradas cinco variáveis: volume de água e esgoto faturados, número de economias ativas de água e esgoto.

A conclusão da dissertação indicou que o modelo de retorno variável de escala (DEA-V) é o mais adequado para o setor de saneamento básico. Ao analisar por região, verificou-se que a Região Sudeste era a mais eficiente, enquanto a Região Nordeste apresentava a maior ineficiência, com destaque para a CAEMA como a empresa mais ineficiente.

Bittelbrunn *et al.* (2016) utilizaram as abordagens DEA-BCC e DEA-CCR para analisar a eficiência dos gastos no período de 2012 a 2014. O estudo considerou uma variável de entrada, que foi a despesa de exploração, e quatro variáveis de saída, sendo elas: quantidade de ligações ativas de água e esgoto e extensão da rede de água e esgoto. Durante o período analisado, apenas cinco empresas foram consideradas eficientes em todos os anos. Na Região Nordeste, apenas duas empresas apresentaram eficiência em algum dos anos, sendo elas a CAEMA e a CAGECE.

Macedo e Sampaio (2021) tiveram como objetivo avaliar a eficiência técnica do setor de saneamento básico para o ano de 2015. O estudo considerou a natureza jurídica das empresas e analisou 18 empresas regionais. O modelo utilizado incluiu uma variável de entrada (DEX) e cinco variáveis de saída, que foram o índice de tratamento de esgoto, extensão da rede de água, extensão da rede de esgoto e quantidade de ligações ativas de água e esgoto. Sete empresas foram consideradas eficientes, sendo que três delas pertencem à Região Nordeste: CASAL, CAGECE e AGESPISA.

Outro estudo realizado por Soares (2022), como trabalho de conclusão de curso, teve como objetivo analisar as 26 prestadoras de serviço de abastecimento de água e tratamento de esgoto do Brasil, considerando sua abrangência regional, e identificar o melhor modelo de eficiência para o setor. O ano de análise foi 2019, um ano antes da implementação do novo marco do saneamento. O modelo utilizado foi o mesmo utilizado por Castro (2003), com uma variável de entrada e quatro variáveis de saída, utilizando as mesmas variáveis. Como resultado, foram identificadas oito empresas eficientes, sendo apenas uma delas do Nordeste, a CAGECE.

3 METODOLOGIA

A Análise Envoltória de Dados é uma ferramenta quantitativa robusta que oferece uma avaliação relativa da eficiência de unidades tomadoras de decisão (denominadas *Decision Making Unit* -DMUs). As DMUs são entidades que convertem recursos (entradas) em produtos ou serviços (saídas). Em um contexto organizacional, as DMUs podem ser escolas, hospitais, empresas, departamentos de uma mesma empresa, entre outros.

O modelo BCC, batizado em homenagem a seus criadores Banker, Charnes e Cooper (1984), é uma

versão específica do DEA que permite considerar retornos de escala variáveis, isto é, não assume que a produção de saídas aumentará proporcionalmente com um aumento nas entradas. Em situações em que a escala de operação tem impacto na eficiência, o modelo BCC torna-se mais adequado.

Quando orientado para o *output* (saída), o modelo BCC procura maximizar as saídas, dado um conjunto constante de entradas. Essa abordagem é particularmente útil quando as entradas são fixas no curto prazo e a gestão tem como objetivo maximizar a produção. Este modelo pode ser aplicado em diversos setores da economia e é útil para tomada de decisões estratégicas em relação à alocação de recursos e melhoria de desempenho.

Diferentemente do que ocorre em uma regressão de mínimos quadrados ordinários, a análise DEA leva em consideração unidades semelhantes, que são as DMUs. No nosso caso, as DMUs são as companhias de saneamento básico do Nordeste. Esse método cria uma fronteira de produção entre elas e, dessa forma, consegue determinar as DMUs eficientes do grupo analisado (Castro, 2003). O modelo aplicado neste trabalho será o *Data Envelopment Analysis* (DEA), especificamente o DEA-BCC, utilizando como referência o que foi proposto por Castro (2003). O programa utilizado para encontrar os resultados foi o *Open Source DEA* ou OSDEA.

A construção da função produção tem como composição os *inputs* e *outputs* (insumos e produtos), podendo ter ao menos uma variável em cada uma das duas. Uma das vantagens da DEA é que não necessita que todas as variáveis estejam na mesma dimensão, diferentemente do que ocorre em outros modelos onde existe a exigência da conversão dos *inputs* e *outputs* para unidades monetárias. Desta forma é possível analisar se as DMUs estão utilizando seus recursos da melhor maneira possível, independente dos resultados financeiros (Castro, 2003).

Sabemos que dificilmente a atividade de uma empresa terá apenas um único insumo e/ou produto. Portanto, diversos fatores influenciam a eficiência de uma DMU. Assim, a ponderação dos *outputs* e *inputs* estabelece sua eficiência (Carmo, 2003). Além disso, é possível determinar a eficiência da DMU com base na distância em relação à fronteira de produção, sendo que quanto mais próxima da fronteira, mais eficiente ela é (Färe; Primont, 1995).

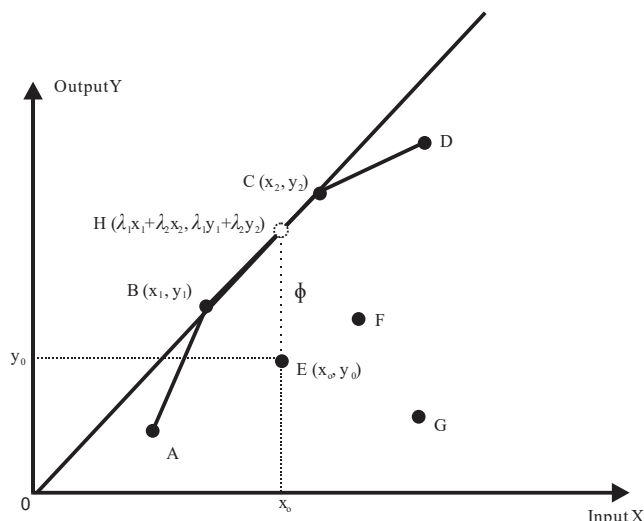
Em complemento, abaixo estão as equações a que a DEA-BCC, orientada ao *output*, está sujeita. Onde: y_{r0} = valor de *output* 'r' para a DMU 0 (sendo avaliada);

x_{i0} = valor de *input* 'i' para a DMU 0 (sendo avaliada), u_i = peso referente ao *input* 'i'; v_r = peso referente ao *output* 'r'; u e v = fatores de escala. No modelo primal, conforme equação [1] e modelo dual, equação [2]:

DEA-BCC orientado ao output	
Modelos dos Multiplicadores (Primal) [1]	Modelo Envelope (Dual) [2]
Minimizar $E_{j0} = \sum_{i=1}^n u_i \cdot x_{i0} + u'$ Sujeito a: $\sum_{r=1}^s v_r \cdot y_{r0} = 1$ $\sum_{i=1}^n u_i \cdot x_{ji} - \sum_{r=1}^s v_r \cdot y_{rj} + u' \leq 0, \text{ para } j=1,2, \dots, m$	Maximizar η Sujeito a: $\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j \leq x_{i0}, \text{ para } i=1,2, \dots, n$ $\sum_{i=1}^m y_{rj} \cdot \lambda_j - \eta y_{r0} \geq 0, \text{ para } r=1,2, \dots, s$ $\sum_{i=1}^m \lambda_j = 1, \text{ para } j=1,2, \dots, m$
y_{r0} = valor de <i>output</i> 'r' para a DMU 0 (sendo avaliada) x_{i0} = valor de <i>input</i> 'i' para a DMU 0 (sendo avaliada) u_i = peso referente ao <i>input</i> 'i' v_r = peso referente ao <i>output</i> 'r' u' e v' = fatores de escala	

Já a Figura 1 ilustra o modelo DEA-BCC orientado a output.

Figura 1 – Gráfico modelo, DEA-BCC



Fonte: elaboração própria, 2023.

Em adição ao modelo DEA-VRS, também foram utilizados alguns dos indicadores do glossário do SNIS e outras relações entre variáveis de acordo com a situação, para auxiliar na análise das variáveis. Os indicadores do SNIS utilizados, com seus respectivos códigos, foram o Índice de hidrometração (IN009), o Índice de atendimento total de água (IN055), e o Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (IN010). Além deles, também foram calculadas as despesas de exploração (FN015) por extensão de rede água (AG005), densidade de ligações ativas de água, a relação entre a quantidade de ligações ativas de esgoto pela quantidade de ligações ativas de água e a participação de despesa com pessoal na despesa de exploração.

3.1 Coleta de dados e modelo utilizado

Os dados utilizados neste trabalho estão disponíveis no site do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), especificamente a série histórica na plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O recorte refere-se a segmentação “regional”, para os estados da Região Nordeste, compreendendo os anos de 2015 a 2019. A segmentação regional refere-se à “firmas ou companhias que atendem um conjunto de municípios”, no geral, aí estão contidos as companhias estatais, no nosso caso: CASAL, EMBASA, CAGECE, CAEMA, CAGEPA, COMPESA, AGESPISA, CAERN, DESO. A amostra utilizada teve um índice de atendimento em média de 70,5% nas cidades em que as companhias oferecem o serviço de distribuição de água. O modelo a ser utilizado tem como inspiração o modelo de Castro (2003). Serão utilizadas quatro variáveis no *output* e uma variável no *input*. As descrições das variáveis empregadas estão apresentadas no Quadro 1 e seguem as definições do Glossário de Informações de Água e Esgoto (2021).

Quadro 1 – Quadro resumo de variáveis *Input-Output*

I/O	Variável	Resumo
INPUT	Despesas de Exploração (FN015)	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo Despesas com Pessoal, Produtos Químicos, Energia Elétrica, Serviços de Terceiros, Água Importada, Esgoto Exportado, Despesas Fiscais ou Tributárias computadas na DEX, além de Outras Despesas de Exploração (FN027).
OUTPUT	Volume de Água Consumido (AG010)	Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido (AG008), o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (AG019) para outro prestador de serviços.
OUTPUT	Extensão de Rede (AG005)	Comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, operada pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência.
OUTPUT	Quantidade de Ligações ativas de Água (AG002)	Quantidade de ligações ativas de esgotos à rede pública que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência. Inclui as ligações ativas sem cobrança (por exemplo, instalações próprias do prestador e cobranças suspensas por decisão judicial).
OUTPUT	Quantidade de Ligações ativas de Esgoto (ES002)	Quantidade de ligações ativas de água, providas ou não de hidrômetro, que estavam conectadas à rede de abastecimento de água e com água disponibilizada para o usuário no ano de referência.

Fonte: Glossário SNIS (2021), elaboração própria, 2023.

Um ponto importante a ser considerado no modelo é a decisão sobre sua orientação, ou seja, se será orientado para o *input* ou para o *output*. No caso do modelo orientado para o *input*, os *outputs* são mantidos constantes e busca-se minimizar o *input* necessário. Já no modelo orientado para o *output*, mantém-se constante o(s) *input(s)* e busca-se maximizar os *outputs*.

No contexto das companhias de saneamento básico presentes no nordeste, é relevante observar que, durante o período observado, todas elas eram estatais de economia mista com administração pública e tinham grande parte de suas despesas relacionadas à folha de pagamento de funcionários estáveis e de terceiros. Nesse caso, torna-se inviável modificar essas variáveis devido às particularidades do setor.

Portanto, considerando essas restrições e características específicas do setor, é adequado optar por um modelo orientado para o *output*, mantendo o *input* constante. Essa escolha permitirá uma análise mais precisa e relevante dos resultados, uma vez que as despesas de pessoal próprio e terceiros não podem ser facilmente alteradas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a síntese das estatísticas descritivas das variáveis selecionadas de saneamento do Nordeste brasileiro, para o período compreendido entre 2015 e 2019.

Tabela 1 – Estatística Descritiva

Ano	Variável	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo	Desv. Pad
2015	FN015	312.202	372.749	428.851	671.117	791.399	1.727.503	475.181,3352
2015	AG010	76.841	100.805	112.143	167.477	208.978	438.028	116.376,2284
2015	AG005	4.974	5.415	6.105	11.475	13.844	36.576	10.554,0411
2015	AG002	395.526	569.034	694.503	1.114.797	1.613.578	2.872.124	832.987,8028
2015	ES002	41.960	105.483	163.870	297.623	347.139	1.039.002	321.137,1446
2016	FN015	354.195	463.430	473.466	740.231	759.775	1.939.426	517.784,3509
2016	AG010	75.845	101.730	113.338	164.473	204.829	425.651	111.144,8020
2016	AG005	5.053	5.461	6.048	11.600	14.136	37.156	10.802,3780
2016	AG002	396.697	573.443	704.405	1.130.511	1.640.545	2.924.222	844.935,5402
2016	ES002	55.783	117.588	166.819	318.516	364.292	1.113.941	340.970,0854
2017	FN015	343.496	505.868	556.574	816.787	878.777	2.136.744	565.623,1110
2017	AG010	73.140	101.220	113.414	162.621	195.650	411.024	108.402,4998
2017	AG005	5.127	6.024	6.473	12.181	14.425	38.764	11.205,8213
2017	AG002	398.611	574.725	678.364	1.129.431	1.634.080	2.962.696	862.653,8958
2017	ES002	62.166	112.196	163.497	333.408	377.978	1.193.921	365.389,2203
2018	FN015	349.355	418.839	581.950	831.556	942.026	2.240.588	618.811,5700

Ano	Variável	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo	Desv. Pad
2018	AG010	51.005	95.462	112.528	158.153	199.925	413.200	114.650,6249
2018	AG005	3.893	5.459	6.133	12.101	14.720	39.380	11.574,1834
2018	AG002	405.265	564.399	723.428	1.124.086	1.642.486	3.017.734	897.657,1722
2018	ES002	46.235	111.594	180.203	343.724	386.971	1.240.584	382.195,4203
2019	FN015	360.468	532.548	570.506	909.533	1.107.127	2.427.020	669.814,3096
2019	AG010	51.029	102.273	107.291	162.992	203.836	410.373	114.675,8251
2019	AG005	4.745	5.529	6.163	12.839	14.988	41.071	12.002,5855
2019	AG002	402.551	570.987	729.357	1.138.035	1.662.674	3.062.096	913.551,0374
2019	ES002	45.211	115.301	195.644	353.426	398.849	1.266.035	389.409,1414

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A seguir, a Tabela 2 apresenta a série histórica de 2015 a 2019, mostrando os índices de eficiência de cada companhia regional de saneamento básico do Nordeste, para cada ano, pelo modelo DEA-BCC, orientação *output*. Observa-se que apenas três companhias foram eficientes em todos os anos: CASAL, EMBASA e CAGECE. A AGESPISA demonstrou eficiência em três anos, apesar de ter apresentado o pior índice no ano de 2017. CAEMA, COMPESA, CAERN e DESO foram eficientes em apenas um dos anos, sendo eles 2018, 2019, 2019 e 2016, respectivamente.

Tabela 2 – Série Histórica das eficiências das companhias de saneamento do Nordeste 2015-2019

Estado	DMU Name	2015	2016	2017	2018	2019
Alagoas	CASAL	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
Bahia	EMBASA	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
Ceará	CAGECE	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
Maranhão	CAEMA	0,904305	0,823660	0,856170	1,000000	0,907594
Paraíba	CAGEPA	0,823459	0,892526	0,834388	0,857785	0,868768
Pernambuco	COMPESA	0,887538	0,917815	0,947855	0,944021	1,000000
Piauí	AGESPISA	0,917796	1,000000	0,780857	1,000000	1,000000
Rio Grande do Norte	CAERN	0,923832	0,948642	0,809738	0,840221	1,000000
Sergipe	DESO	0,770643	1,000000	0,787717	0,735071	0,823203

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Apesar das variáveis utilizadas e amostras serem diferentes das que foram utilizadas por Macedo e Sampaio (2021), o escore encontrado por eles é semelhante ao encontrado nesta pesquisa. No referido trabalho, das 18 companhias estatais de capital misto com administração pública, em 2015, a CASAL e a CAGECE tiveram seu escore ranqueado em 1,00, enquanto a EMBASA teve seu escore ranqueado em 0,93.

Já para 2019, Soares (2022), ao utilizar o escopo de todas as 26 companhias do Brasil, CASAL e EMBASA caem no ranking, com sua pontuação indo para 0,86 e 0,93 respectivamente. Já a CAGECE, mesmo em uma amostra maior, mantém-se com seu nível de eficiência em 1. Mesmo nos anos 2000, no trabalho de Carmo (2023)², das três, a CAGECE é a única que mantém o seu índice de eficiência em 1, apesar das outras duas não estarem tão distantes – CASAL (0,98) e EMBASA (0,95).

Por último, Bittelbrunn (2016) fez um análise semelhante para 2012 à 2014, com a única diferença sendo no *output*. Enquanto o presente trabalho utiliza o volume de consumo de água, ele utiliza a extensão de rede de esgoto, e as demais variáveis são idênticas. No seu resultado, a CASAL figura como uma das piores companhias, com uma média 0,63, já a EMBASA e a CAGECE tem em sua média 0,76 e 0,89. Destacamos que, apesar da CAGECE, em sua análise, não apresentar a média ideal de 1, ao decorrer dos anos a sua eficiência cresce de 0,73 a 1.

Tendo em vista o resultado do ranking deste trabalho, e dos demais, é possível afirmar que a CAGECE, além de ser uma companhia modelo para a Região Nordeste, também pode despontar como modelo para outras companhias no Brasil.

² A sua amostra é composta por todas as companhias estatais do Brasil e utiliza variáveis completamente diferentes, somente quatro companhias tiveram uma pontuação abaixo de 0,78; as demais apresentaram valores acima de 0,94.

Na outra ponta, pode-se considerar que a CAGEPA e a DESO tiveram os piores resultados na série histórica, com valores entre 0,82 e 0,89 (CAGEPA), 0,73 e 0,78 (DESO). Entretanto, no trabalho de Soares (2022) elas ficam no meio da tabela, com os valores encontrados próximos a 0,76 e 0,73 respectivamente, o mesmo ocorre com os resultados de Bittelbrun (2016) – 0,85 para DESO e 0,76 para CAGEPA. Somente nos trabalhos de Carmo (2003) e de Macedo e Sampaio (2021) esses valores irão destoar, já que ambos apresentam pontuações acima de 0,96.

Posto que a metodologia de Castro inspirou este trabalho, a forma que apresentou os resultados dificulta fazer uma comparação com os resultados aqui apresentados, uma vez que oculta as companhias analisadas.

Na Tabela 3, podemos ver a frequência que uma companhia surgiu como modelo para as outras companhias. Como esperado, CAGECE, CASAL e EMBASA foram as companhias que apareceram com mais frequência.

Tabela 3 – Frequência das companhias do Nordeste que surgem como modelo 2015-2019

DMU	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	CASAL	CASAL	CASAL	CASAL	CASAL
EMBASA	EMBASA	EMBASA	EMBASA	EMBASA	EMBASA
CAGECE	CAGECE	CAGECE	CAGECE	CAGECE	CAGECE
CAEMA	CASAL, CAGECE	CASAL, CAGECE, AGESPISA	CASAL, EMBASA, CAGECE	CAEMA	CASAL, CAGECE, AGESPISA
CAGEPA	CASAL, CAGECE	CAGECE, AGESPISA	CASAL, CAGECE	CASAL, CAGECE	CASAL, CAGECE, AGESPISA
COMPESA	EMBASA, CAGECE	EMBASA, CAGECE	CASAL, EMBASA, CAGECE	EMBASA, CAGECE	COMPESA
AGESPISA	CASAL, CAGECE	AGESPISA	CASAL, CAGECE	AGESPISA	AGESPISA
CAERN	CASAL, CAGECE	CAGECE, AGESPISA	CASAL, EMBASA, CAGECE	EMBASA, CAGECE, CAEMA	CAERN
DESO	CASAL, CAGECE	DESO	CASAL, EMBASA, CAGECE	EMBASA, CAGECE, CAEMA	CASAL, CAGECE, AGESPISA

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Apesar de a CAGECE ter sido a companhia mais citada como modelo para as outras empresas, seu índice de atendimento total de água (IN055) em 2015 e 2019 foi o segundo e o terceiro pior da região, ficando atrás apenas da CAEMA em 2015 e, em 2019, da CAEMA e da AGESPISA. Os valores podem ser visualizados com mais detalhes na Tabela 4. Um ponto interessante a ser destacado em relação a esse índice é a queda surpreendente de 28,62 pontos percentuais no indicador da AGESPISA em 2018, cuja razão será explicada posteriormente.

Tabela 4 – Índice de atendimento total de água (IN055) - 2015 à 2019

DMU	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	73,23%	73,33%	69,51%	69,36%	70,82%
EMBASA	77,68%	78,03%	77,86%	80,11%	79,20%
CAGECE	59,67%	59,56%	58,44%	53,92%	53,06%
CAEMA	49,35%	47,83%	47,37%	47,61%	46,38%
CAGEPA	74,68%	71,69%	73,43%	74,05%	74,91%
COMPESA	76,25%	77,69%	79,14%	80,58%	81,23%
AGESPISA	76,18%	77,45%	75,72%	47,10%	47,53%
CAERN	78,12%	78,13%	74,30%	83,55%	80,71%
DESO	81,09%	80,91%	80,40%	81,96%	87,58%

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do SNIS, 2023.

Em relação à CASAL, apesar de ter sido a segunda mais citada como modelo de referência para as outras companhias e ter demonstrado eficiência em todos os anos, seu índice de micromedição relativa ao volume disponível (IN010) é significativamente baixo em comparação com as outras companhias, atingindo no máximo 39,06% em 2019, conforme a Tabela 5, abaixo. Para efeitos de comparação, a

CAGEPA, uma companhia que não apresentou eficiência em nenhum ano, registrou um indicador de 55,38% em 2019 (ver Tabela 5). Esse baixo índice indica que grande parte do volume disponibilizado pela CASAL é estimado, tornando os dados dessa unidade pouco confiáveis.

Tabela 5 – Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado (IN010) - 2015 à 2019

DMU	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	28,49%	26,81%	27,13%	35,96%	39,06%
EMBASA	52,97%	53,10%	52,10%	52,35%	52,01%
CAGECE	56,18%	58,40%	54,04%	54,17%	51,99%
CAEMA	8,62%	8,91%	9,33%	9,05%	9,75%
CAGEPA	51,60%	51,83%	52,94%	57,74%	55,38%
COMPESA	43,81%	43,52%	44,50%	45,83%	44,09%
AGESPISA	39,34%	40,87%	38,40%	41,12%	48,05%
CAERN	40,61%	43,12%	44,39%	45,52%	43,74%
DESO	46,55%	51,49%	51,85%	50,84%	45,55%

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do SNIS, 2023.

Além disso, o índice de hidrometração é relativamente alto ao longo , com exceção da CAEMA cerca de 90% ao longo dos anos, o que sugere que os 10% das ligações ativas não hidrometradas, cujo volume é estimado, contribuem, em parte, para o restante do volume disponível que não está sendo micromedido. A Tabela 5 apresenta com mais detalhes os valores desses indicadores. No entanto, essa característica não é exclusiva da CASAL, é também das outras unidades. A proporção de ligações hidrometradas com valor micromedido é, no mínimo, curiosa.

Tabela 6 – Índice de hidrometração (IN009) - 2015 à 2019

DMU	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	90,64%	91,11%	85,70%	85,27%	91,42%
EMBASA	97,41%	97,50%	97,60%	98,02%	98,48%
CAGECE	99,94%	99,90%	99,89%	99,95%	99,96%
CAEMA	22,16%	23,00%	24,79%	25,53%	26,60%
CAGEPA	88,49%	88,27%	90,10%	91,25%	92,10%
COMPESA	87,76%	88,60%	88,83%	88,85%	88,24%
AGESPISA	94,57%	94,07%	94,69%	95,09%	88,03%
CAERN	83,07%	86,00%	89,60%	91,66%	92,01%
DESO	99,52%	99,55%	99,56%	99,51%	99,49%

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do SNIS, 2023.

Com exceção de Castro (2003), a análise feita pelos outros autores não apresenta uma análise minuciosa em cada uma das variáveis para as companhias, muita das vezes se prendendo somente ao ranking ou em indicar a melhoria de uma variável de forma geral para todas as companhias. Isso provavelmente se dá pelo tamanho da amostra utilizada, uma vez que ficaria muito extenso analisar todas as DMU (a título de curiosidade, a menor amostra tinha 18 DMU dos trabalhos levantados na revisão de literatura). Apesar de Castro (2003) ter explorado cada uma das variáveis, não indica qual companhia em específico necessita melhorar naquela variável para atingir a eficiência, mas é importante ressaltar que o seu objetivo era só verificar a viabilidade da DEA como ferramenta. Dados esses apontamentos e feita esta análise geral.

Veremos agora as melhorias que seriam necessárias para cada um dos *outputs*, para tornar as DMUs eficientes.

4.1 Output volume de água consumido (AG010)

Na Tabela 7 apresentada abaixo, é possível observar que, com exceção das três companhias modelo (CAGECE, CASAL e EMBASA), todas as demais precisaram realizar ajustes no Volume do Consumo de Água em algum momento para alcançar a eficiência. A DESO e a CAGEPA foram as empresas que necessitaram de ajustes mais significativos em alguns anos. Nota-se que o percentual necessário de ajust-

te da CAGEPA diminui ao longo dos anos, indicando que a empresa conseguiu resolver esse problema ao longo do período analisado. Por outro lado, a DESO, apesar de apresentar valores de 0% em alguns anos, mostrou uma variação de 50% nos anos em que precisou de ajustes, sugerindo possíveis instabilidades na região ou nos dados, o que demanda uma análise mais aprofundada.

Tabela 7 – Resultado detalhado do *output* volume de água consumido e o percentual necessário para a eficiência - 2015 à 2019

DMU	Resultados	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0%	0%
EMBASA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0%	0%
CAGECE	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0%	0%
CAEMA	Folga	4.501,11	-	-	-	0
	Percentual	4,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
CAGEPA	Folga	20.699,64	23.590,73	13.559,35	7.608,15	0
	Percentual	18,08%	20,17%	11,67%	6,27%	0,00%
COMPESA	Folga	23.460,83	17.303,17	0	0	0
	Percentual	9,43%	7,39%	0,00%	0,00%	0,00%
AGESPISA	Folga	32.848,75	-	9.734,97	-	-
	Percentual	33,94%	0,00%	9,62%	0,00%	0,00%
CAERN	Folga	29.280,10	16.950,27	18.669,39	18.055,03	0
	Percentual	29,05%	16,66%	18,84%	17,67%	0,00%
DESO	Folga	38.993,59	-	36.060,37	33.181,29	0
	Percentual	50,75%	0,00%	49,30%	45,15%	0,00%

Fonte: Resultado da folga referente ao AG010 e o percentual necessário. Elaboração própria.

No entanto, é importante ressaltar que a expansão dessa variável é limitada devido ao fato de que a água é um recurso finito e cada vez mais escasso. Nesse sentido, existem dois indicadores relevantes para esse caso. O primeiro indicativo é que nos anos de ineficiência, a companhia teve um gasto maior do que o necessário para atingir determinado nível de produção. O segundo indicativo está relacionado às perdas de volume de água, ou seja, a diferença entre a produção e o volume consumido pelo usuário final. Essas perdas podem ocorrer devido a problemas na infraestrutura da rede, ligações clandestinas de água e erros de medição. Esses fatores estão ligados à baixa micromedição do volume de água, o que pode resultar em uma subestimação do volume consumido, gerando um valor inferior ao real.

A abordagem do volume perdido é um indicativo relevante para tornar essa variável menos ineficiente. Ao analisar e minimizar os problemas relacionados às perdas de água, é possível reduzir o volume de água produzido, resultando em uma diminuição das despesas da companhia.

Tabela 8 – Volume de água perdida em KM³ - 2015 a 2019

DMU	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	48.104,72	51.091,95	36.957,48	48.713,37	44.887,74
EMBASA	272.759,04	292.599,78	290.452,01	294.272,46	316.046,97
CAGECE	163.090,01	146.073,72	164.800,31	160.600,53	170.438,65
CAEMA	200.863,99	199.773,12	194.957,83	208.330,98	219.020,52
CAGEPA	78.046,79	74.851,53	81.956,40	80.052,73	83.258,30
COMPESA	330.407,97	314.700,47	323.678,32	298.016,55	308.219,71
AGESPISA	86.476,74	98.696,22	110.107,18	49.725,71	50.847,46
CAERN	115.321,11	107.674,25	106.304,66	105.495,47	110.507,94
DESO	86.897,15	70.278,33	66.811,18	69.972,23	75.342,33

Fonte: SNIS. Elaboração própria, 2023

Na Tabela 8, estão apresentados os volumes de água perdidos, sendo calculados como a soma do

volume de água produzido (AG006) com o volume de água importado (AG018), menos os volumes de água exportado (AG019), de água consumido (AG010) e de serviço (AG024). Observa-se que o volume de água perdida excede substancialmente o necessário para o ajuste visando à eficiência dessa variável.

4.2 Output extensão de rede de água (AG005)

Conforme a Tabela 9, a única companhia que não apresentou melhoria em relação à extensão de rede de água foi a CAGEPA, necessitando de uma melhoria de até 78,73% na rede. Durante todo o período da análise, a extensão de rede de água da CAGEPA expandiu apenas 11,16%. Embora outras companhias também não tenham tido uma expansão expressiva nessa variável - algumas até mesmo tiveram redução -, elas foram acompanhadas por um aumento proporcional maior nas outras variáveis em comparação à CAGEPA.

Tabela 9 – Resultado detalhado do output extensão de rede de água e o percentual necessário para a eficiência - 2015 a 2019.

DMU	Resultados	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
EMBASA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAGECE	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAEMA	Folga	158,651	33,14831	1168,691	0	265,1838
	Percentual	2,73%	0,55%	19,40%	0,00%	4,30%
CAGEPA	Folga	3906,52	3978,107	3947,384	4090,516	3764,144
	Percentual	78,54%	78,73%	76,99%	77,81%	68,08%
COMPESA	Folga	983,5791	1358,331	783,4672	1071,815	0
	Percentual	5,26%	7,04%	3,89%	5,24%	0,00%
AGESPISA	Folga	1603,272	0	445,55	0	0
	Percentual	29,61%	0,00%	6,88%	0,00%	0,00%
CAERN	Folga	983,9618	964,4086	0	0	0
	Percentual	16,12%	15,37%	0,00%	0,00%	0,00%
DESO	Folga	0	0	0	0	62,71626
	Percentual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,04%

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Além disso, como mostra Tabela 10, ao comparar a relação entre a despesa de exploração e a extensão da rede de água (FN015/AG005) da CAGEPA com as companhias que serviram de modelo para ela ao longo dos anos (CASAL, CAGECE e AGESPISA), observa-se uma relação de despesas até 41% a 111% maior.

Tabela 10 – Despesas de exploração (FN015) dividido pela extensão de rede de água (AG005) - 2015 a 2019 (em mil reais)

DMU Name	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	62,14	69,08	65,55	68,99	76,46
EMBASA	47,23	52,20	55,12	56,90	59,09
CAGECE	57,17	53,75	60,92	64,00	73,87
CAEMA	72,89	71,36	83,98	68,29	86,41
CAGEPA	110,55	113,89	122,15	126,92	136,33
COMPESA	59,69	62,18	63,02	66,70	67,23
AGESPISA	58,57	84,86	84,53	89,74	75,97
CAERN	70,25	75,45	76,03	77,65	58,03
DESO	54,68	79,53	79,69	88,82	92,02

Fonte: SNIS. Elaboração Própria (2023)

Um fator que poderia explicar essa alta relação de despesas seria a baixa densidade das ligações

(razão entre ligações de água e extensão de rede), porém isso não é factível, uma vez que a CAGEPA é a unidade com a maior densidade de ligações da amostra, como pode ser visto na tabela 11.

Tabela 11 – Densidade de ligações ativas de água - 2015 à 2019

DMU Name	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	78,73	77,37	76,07	74,24	75,56
EMBASA	78,52	78,70	76,43	76,63	74,56
CAGECE	116,55	116,05	113,28	111,58	110,93
CAEMA	97,86	94,82	95,41	92,72	92,65
CAGEPA	163,01	166,02	156,08	155,72	149,52
COMPESA	100,62	97,49	95,01	95,83	92,05
AGESPISA	120,83	122,97	104,80	106,94	84,84
CAERN	113,76	112,26	89,40	96,52	74,19
DESO	79,39	93,04	89,65	92,27	95,41

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

4.3 Output quantidade de ligações ativas de água (AG002)

A Tabela 12 mostra o Resultado da folga referente ao AG002 e o percentual necessário de melhora. A única companhia que enfrentou dificuldades para melhorar a eficiência das ligações ativas de água foi a CAGEPA, como indica a Tabela 12. Além dela, CAERN e DESO também tiveram essa variável deficitária, mas somente em um dos anos da amostra.

Tabela 12 – Resultado detalhado do *output* quantidade de ligações ativas de água o percentual necessário para a eficiência - 2015 a 2019

DMU	Resultados	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
EMBASA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAGECE	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAEMA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
CAGEPA	Folga	56.651	216.562	92.193	86.817	98.980
	Percentual	6,99%	25,81%	11,52%	10,61%	11,97%
COMPESA	Folga	0	0	0	13457	0
	Percentual	0,00%	0,00%	0,00%	0,69%	0,00%
AGESPISA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
CAERN	Folga	0	148.097	0	0	0
	Percentual	0,00%	21,02%	0,00%	0,00%	0,00%
DESO	Folga	30.305	0	0	0	0
	Percentual	5,60%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaboração própria, 2023

Devido à limitação populacional, existe um limite para a expansão das ligações ativas de água. No entanto, mesmo com essa restrição, é possível corrigir essa situação, uma vez que há espaço para expansão nas ligações desativadas³.

³ O número de ligações desativadas é encontrado pela diferença entre a quantidade de ligações totais (AG021) e a quantidade de ligações ativas (AG002).

4.3 Output quantidade de ligações ativas de esgoto (ES002)

A Tabela 13 apresenta o resultado da folga referente ao ES002 e o percentual necessário de melhora. De todas as variáveis do modelo, era esperado que a quantidade de ligações ativas de esgoto apresentasse o maior percentual de melhoria necessário. Analisando um período um pouco mais distante dos anos em análise, em 2001, a AGESPISA tinha o pior índice de atendimento total de esgoto para os municípios atendidos com água (IN056), com 3,71%, enquanto a CAGECE obteve o melhor resultado, com 23,71%. Em 2019, a AGESPISA registrou 6,18%, enquanto a CAERN obteve o melhor resultado, com 23,50%. Isso claramente demonstra que houve um avanço mínimo na área de coleta de saneamento básico e que o investimento no setor de coleta e tratamento de esgoto sanitário foi negligenciado pelo poder público. COMPESA e AGESPISA foram as principais companhias que precisaram de ajustes acima de 100%.

Tabela 13 – Resultado detalhado do output ligações ativas de esgoto e o percentual necessário para a eficiência - 2015 a 2019

DMU	Resultados	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
EMBASA	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAGECE	Folga	0	0	0	0	0
	Percentual	0%	0%	0%	0,00%	0%
CAEMA	Folga	24.214	21.119	50.259	-	43.594
	Percentual	21,25%	17,96%	44,80%	0,00%	37,81%
CAGEPA	Folga	-	-	-	-	-
	Percentual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
COMPESA	Folga	363.497	337.673	370.654	409.868	-
	Percentual	104,71%	92,69%	98,06%	105,92%	0,00%
AGESPISA	Folga	112.768	-	153.247	-	-
	Percentual	193,17%	0,00%	176,69%	0,00%	0,00%
CAERN	Folga	26.901	-	37.899	33.955	-
	Percentual	16,42%	0,00%	23,18%	18,84%	0,00%
DESO	Folga	35.912	-	31.062	23.450	22.830
	Percentual	34,05%	0,00%	24,90%	17,64%	16,14%

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Considerando o baixíssimo índice de atendimento total de esgoto (IN056), fica evidente que há margem suficiente para a expansão necessária no número de ligações ativas de esgoto. Ao comparar as companhias CAGECE e EMBASA, que serviram como modelos para a COMPESA, observa-se que a relação entre a quantidade de ligações ativas de água e a quantidade de ligações ativas de esgoto chega a uma diferença de 21,35 pontos percentuais, conforme a Tabela 14. Ao realizar a mesma análise para a AGESPISA, comparando-a com as companhias modelos (CASAL e CAGECE), verifica-se uma diferença de até 27 pontos percentuais.

Tabela 14 – Relação entre a quantidade de ligações ativas de água (AG002) pela quantidade de ligações ativas de esgoto (ES002) - 2015 a 2019

DMU Name	2015	2016	2017	2018	2019
CASAL	10,61%	14,06%	15,60%	18,42%	18,80%
EMBASA	36,18%	38,09%	40,30%	41,11%	41,35%
CAGECE	33,72%	34,84%	36,31%	37,57%	38,12%
CAEMA	20,03%	20,51%	19,52%	19,62%	20,19%
CAGEPA	32,66%	33,10%	35,74%	37,04%	37,07%
COMPESA	18,44%	19,37%	19,73%	19,75%	19,99%
AGESPISA	8,92%	11,20%	12,79%	11,11%	11,23%

CAERN	23,60%	23,68%	24,98%	24,91%	26,82%
DESO	19,49%	22,75%	22,85%	23,55%	24,51%

Fonte: SNIS. Elaboração Própria.

Apesar de quatro companhias apresentarem eficiência na variável, todas ainda precisam melhorar em relação à quantidade de ligações ativas de esgoto. Apenas a EMBASA, CAGECE e CAGEPA registraram uma relação ES002/AG002 acima de 32%, o que significa que, durante todo o período analisado na Região Nordeste, no máximo 41% das pessoas com acesso à ligação de água tinham acesso à coleta de esgoto. Os destaques negativos ficam para a AGESPISA e a CASAL, que, apesar de apresentarem uma melhora ao longo dos anos, não alcançaram nem um quinto do atendimento de coleta de esgoto para os indivíduos com acesso ao fornecimento de água.

5 CONCLUSÃO

Verificou-se ao longo da série histórica que três das nove companhias regionais de saneamento do Nordeste foram consideradas eficientes em relação à região. No ano de 2019, apenas três companhias foram classificadas como ineficientes, sendo que uma delas foi ineficiente em todos os anos analisados, enquanto as outras duas mostraram eficiência em pelo menos um dos anos. É importante destacar que a CASAL e a AGESPISA merecem uma atenção especial em futuras pesquisas, uma vez que ambas perderam o direito de fornecimento de água, a CASAL, em 2020, e a AGESPISA, em 2018.

No que concerne às variáveis analisadas, o modelo indicou que a quantidade de ligações ativas de esgoto exerce a maior influência na busca pela eficiência. No entanto, é necessário examinar com mais detalhes a situação da CASAL, já que a relação entre ligações ativas de água e ligações ativas de esgoto dessa empresa é uma das mais baixas entre as analisadas. A CAGEPA, por sua vez, foi a única companhia que não apresentou a necessidade de aumentar o número de ligações ativas de esgoto, embora tenha sido necessário em relação às outras variáveis.

Como visto, o trabalho apresentou um modelo orientado para o *output*, deixando o *input*, despesas de exploração constantes. Mesmo as DMUs que apresentaram eficiência técnica, ainda não atingiram o atendimento universal de saneamento básico. Aquelas que não obtiveram eficiência, ao alcançá-la, também não atingiram o atendimento universal. Ou seja, o estrangulamento para o atendimento universal está nas despesas, e dado que o governo, em todas as esferas, não possui recursos suficientes, fica claro que uma das maneiras de aumentar os investimentos/despesas seria facilitar a atividade do setor privado no âmbito do saneamento básico. Isso destaca que o Novo Marco acertou ao viabilizar tais empreendimentos para o capital privado.

As limitações do trabalho estão ligadas ao limite das variáveis, dependendo da situação, a expansão de um *output* não é possível dada a sua finitude geográfica. A exemplo disso, seria a expansão da extensão da rede de água, dado o limite de espaço a expansão da rede não seria possível. Por mais que exista espaço para expansão, uma vez que um terço da população ainda não tem acesso à água potável, é importante tomar nota desta limitação do modelo para futuras pesquisas. De todo modo, as empresas e agências reguladoras podem utilizar a DEA para se posicionar em relação a outras empresas que adquiriram o direito de fornecimento de água em outras regiões. Como a DEA é uma ferramenta altamente flexível, as empresas podem utilizá-la como orientação, levando em consideração suas despesas como *input*, tanto de forma externa, comparando-as com outras empresas, quanto internamente, criando zonas e classificando-as. É importante lembrar que o modelo não se limita apenas às variáveis apresentadas, pois há todo um universo a ser explorado.

Esses resultados destacam a importância de aprimorar o desempenho das companhias de saneamento, especialmente no que diz respeito à expansão das ligações de esgoto ativas. Essas informações são relevantes para orientar futuras ações e decisões visando melhorias na eficiência e na qualidade dos serviços prestados pelas companhias regionais de saneamento.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/saneamento/>. Acesso em: 17 de maio de 2023.

BITTELBRUNN, F. et al. **Estudo da eficiência dos gastos com saneamento básico dos estados brasileiros e DF entre 2012 a 2014 por meio de Análise Envoltória de Dados**. <https://doi.org/10.61673/ren.2026.2606>

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Artigo 23º.

_____. **Marco Legal do Saneamento Básico**. Lei Nº 14.026, de 15 de Julho de 2020. Brasília-DF: Presidência da República, 2020.

_____. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Panorama do Saneamento Básico do Brasil 2021**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/panorama-do-saneamento-basico-do-brasil>. Acesso em 17 de maio de 2023.

_____. Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. **Novo Marco Regulatório do Saneamento**. Disponível em: https://www.gov.br/ana/acl_users/credentials_cookie_auth/require_login?came_from=https%3A//www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/novo-marco-legal-do-saneamento Acesso em 15 de Maio de 2023.

_____. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diretrizes para a Definição da Política e Elaboração do Plano de Saneamento Básico**. 2011. Brasília. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Diretrizes_Politica_Planos_de_Saneamento.pdf

CARVALHO, A. A. de. **Regulação econômica e contratos sob o novo marco legal do saneamento básico: estudo de caso da concessão da região metropolitana de Maceió**. 2021. Dissertação (Mestrado em Governança e Desenvolvimento). Escola Nacional de Administração Pública - ENAP. Brasília, 2021.

CARMO, C. M. **Avaliação Da Eficiência Técnica Das Empresas De Saneamento Brasileiras Utilizando a Metodologia DEA**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife, 2003.

CASTRO, C. E. T. Avaliação da Eficiência Gerencial de Empresas de Água e Esgotos Brasileiras por meio da Envoltória de Dados. Revista de Economia do IPEA, Brasília, **Texto para discussão**, n. 922, p. 9, Dezembro de 2002. ISSN 1415-4765.

CASTRO, C. N. **Plano nacional de segurança hídrica, problemas complexos e participação social**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Brasília, 2021.

MACEDO, J. J.; SAMPAIO, A. V. **Avaliação do setor de saneamento no Brasil período 2015 usando o método Análise Envoltória de Dados (DEA)**. Tópicos em Administração. Vol. 39. Ed 1º. Editora Poisson. Belo Horizonte, 2021.

ROUBICEK, M. **O novo marco legal do saneamento básico sob análise.** *Nexo Jornal*. 25 de Junho de 2020. Disponível em: http://cogetes.epsjv.fiocruz.br/storage/ANEXO_GEOGRAFIA_1ºANO_O_NOVO_MA_RCO_LEGAL_DO_SANEAMENTO_BÁSICO_SOB_ANALISE-a_5f065a9712d03.pdf. Acesso em: 24 de Maio de 2023.

SANTOS, L. S. dos. **Avaliação da eficiência do saneamento no Brasil em 2019 utilizando a análise envoltória de dados.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2022.

SILVESTRE, M. E. D. **Código de 1934: água para o Brasil industrial.** *Revista geo-paisagem* (online), Niterói, Ano 7, nº 13, 2008, Janeiro/Junho de 2008. ISSN Nº 1677-650X.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Glossário de Indicadores - Água e Esgotos.** Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2021.

_____. **Glossário de Informações - Água e Esgotos.** Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2021.

_____. **Série Histórica.** Brasil. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 17 de maio de 2023.

TERA AMBIENTAL. **Os problemas ambientais causados pela falta de tratamento de efluente.** Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/os-problemas-ambientais-causados-pela-falta-de-tratamento-de-efluente#:~:text=O%20esgoto%20doméstico%20por%20exemplo,também%20desequilibra%20o%20ecossistema%20local>. Acesso: 15 de junho de 2023.

TUROLLA, F. **A política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Rio de Janeiro, 18 de fevereiro de 2003.

FÄRE, R.; PRIMONT, D. **Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications.** Cambridge University Press, 1995.

FARRELL, M. J. The allocation of economic resources. *American Economic Review*, v. 49, n. 2, 1959.

_____. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, v. 120, n. 3, 1957.

FLACH, L. **Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA).** [Vídeo]. Disponível em: <https://www.youtube.com/live/cDJ13FFT0wo?> Acesso: 17 de Maio de 2023.

SOUSA, A. C. A. de. O que esperar do novo marco do saneamento? Perspectivas. *Cad. Saúde Pública*, v. 36, n. 12, 2020. doi:<https://doi.org/10.1590/0102-311X00224020>.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: Uma abordagem moderna**. 9ª Ed. 2015. Editora: Elsevier. 2015.

KUWAJIMA, J. I.; SANTOS, G. R.; SANTANA, A. S. Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas. *Revista de Economia do IPEA*, Rio de Janeiro. **Texto para discussão**, n. 2587, p. 9, Agosto de 2020. ISSN 1415-4765.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Sanitation**. 2022. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation> Acesso: 19 de junho de 2023.