

REN Revista Econômica do Nordeste

3

Volume 57 | N° 03 | Julho-Setembro 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 de Ambiente

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 Péricles 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. Aírton 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. 3, jul./set., 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

sumario

FOOD LOSS AND WASTE WORLDWIDE: AN ANALYSIS OF THEORIES, ACTIONS AND GOVERNANCE Perda e desperdício de alimentos no mundo: uma análise de teorias, ações e governança	8
ESTRATÉGIAS BANCÁRIAS REGIONAIS: UM ESTUDO CLASSIFICATÓRIO DE MUNICÍPIOS PARA O CASO BRASILEIRO NOS ANOS DE 2013 E 2016 Regional banking strategies: a classifying study of municipalities for the brazilian case in the years 2013 and 2016.....	22
PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E EFICIÊNCIA TÉCNICA NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS Agricultural Productivity and Technical Efficiency in the Brazilian Northeast: An Analysis of Temporary Crops	41
O PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS COMO MECANISMO DE ENFRENTAMENTO À VULNERABILIDADE SOCIAL DE POPULAÇÕES RURAIS Payment for environmental services as a mechanism to cope with the social vulnerability of rural populations.....	64
REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE A LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DE SOJA: REFLEXÕES NO CASO BRASILEIRO Bibliometric review on optimizing soybean transportation logistic: Brazilian case reflections	79
DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE ENSINO SUPERIOR PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ, BRASIL Energy performance of distributed generation expansion in public higher education institutions: a case study of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Piauí, Brazil	97
CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO E DESEMPENHO DAS CULTURAS ALIMENTARES NO MATOPIBA: IMPACTOS E DESAFIOS Recovery Capacity and Performance of Food Crops in the MATOPIBA Region: Impacts and Challenges	113
DETERMINANTES DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA EM ECONOMIAS BASEADAS EM RECURSOS NATURAIS: UMA ANÁLISE COM DADOS DOS ESTADOS BRASILEIROS Complexity economic determinants in natural resource-based economies: an analysis with Brazilian States data	129
A RELAÇÃO ENTRE GASTOS PÚBLICOS POR ALUNO E QUALIDADE EDUCACIONAL DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS The relationship between per-student public spending and educational quality in brazilian municipalities.....	148
CARACTERIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR DO ESTADO DE MINAS GERAIS POR MEIO DE SEUS FATORES DETERMINANTES Characterization of family farming in Minas Gerais (Brazil) through its determining factors	164

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!

FOOD LOSS AND WASTE WORLDWIDE: AN ANALYSIS OF THEORIES, ACTIONS AND GOVERNANCE

Perda e desperdício de alimentos no mundo: uma análise de teorias, ações e governança

Elisangela Domingues Vaz

Administration. PhD in Agribusiness and Development, Professor of Higher Education at Fatec - Faculty of Technology. Street. José Ítalo Bacchi, s/n - Jardim Aeroporto, 18606-851, Botucatu - SP, Brazil. elidominguesvaz@gmail.com

Giuliana Aparecida Santini Pigatto

Economic Sciences. PhD in Production Engineering, Associate Professor at the São Paulo State University (UNESP). Street Domingos da Costa Lopes780, 17602-496, Tupã, SP, Brazil. giuliana.santini@unesp.br

Luana Fernandes Melo

Nutrition and Agroecology. PhD in Rural Extension, Researcher at the Family Farming and Sustainability Study Group (GEA-FS). Street Domingos da Costa Lopes780, 17602-496, Tupã, SP, Brazil. luanaagronutri@gmail.com

Abstract: This paper aimed to answer the following questions: (i) What theoretical approaches have been proposed to explain patterns of FLW around the world? (ii) How can a better understanding of governance relationships in agri-food systems contribute to reducing FLW? (iii) How can food, input and material suppliers, and processing sectors and buyers work together to develop more sustainable agri-food systems? To this end, the aim of the paper was to analyze the theories related to the topic, the governance relationships in agri-food systems and actions carried out by actors in the food, input and/or material supply network. The methodological procedure involved a systematic quantitative literature review to map the available literature on FLW. The quantitative bibliometric tool Bibliometrix of the R software was used. The results show that the main approaches included life cycle analysis for assessing environmental impacts, assessment of the supply chain and stakeholder actions, estimates of the weight of food losses, discussions on the circular economy and analysis of socio-technical transitions. The articles that addressed governance showed the need for stakeholders to contribute to the development of packaging solutions with a better environmental profile. The originality of the study lies in its approach to the topic and the adoption of little-explored perspectives, such as theories that discuss FLW and governance practices in supply chains. The study incorporates several disciplines, adopting a multidisciplinary approach. Thus, it was possible to identify significant gaps in the existing literature and suggestions for future research.

Keywords: corporate actions, governance, loss reduction, foods.

Resumo: Este artigo teve como objetivo responder às seguintes perguntas: (i) Quais abordagens teóricas foram propostas para explicar os padrões de PDA em todo o mundo? (ii) Como uma melhor compreensão das relações de governança em sistemas agroalimentares pode contribuir para a redução de PDA? (iii) Como os fornecedores de alimentos, insumos e materiais, e os setores de processamento e os compradores podem trabalhar juntos para desenvolver sistemas agroalimentares mais sustentáveis? Para isso, o objetivo do artigo foi analisar as teorias relacionadas ao tema, as relações de governança em sistemas agroalimentares e ações realizadas por atores da rede de abastecimento de alimentos, insumos e/ou materiais. O procedimento metodológico envolveu uma revisão quantitativa sistemática da literatura para mapear a literatura disponível sobre PDA. Foi utilizada a ferramenta bibliométrica quantitativa Bibliometrix do software R. Os resultados evidenciam que as principais abordagens incluíram a análise do ciclo de vida para a avaliação dos impactos ambientais, avaliação da cadeia de abastecimento e ações das partes interessadas, estimativas de peso das perdas de alimentos, discussões sobre economia circular e análise de transições sociotécnicas. Os artigos que abordaram governança mostraram a necessidade dos stakeholders contribuírem para o desenvolvimento de soluções de embalagens com melhor perfil ambiental. A originalidade do estudo reside na abordagem do tema e na adoção de perspectivas pouco exploradas, como teorias que discutem PDA e práticas de governança em cadeias de suprimentos. O estudo incorpora diversas disciplinas, adotando uma abordagem multidisciplinar. Assim, foi possível identificar lacunas significativas na literatura existente e sugestões para pesquisas futuras.

Palavras-chave: ações corporativas, governança, redução de perdas, alimentos.

1 INTRODUCTION

In the last decade, FLW has been the focus of intense debate by the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Food losses refer to the reduction in edible food mass along the supply chain, specifically concerning food for human consumption. Such losses may occur in the production, post-harvest, or processing phases (Parfitt *et al.*, 2010; FAO 2012; 2019). On the other hand, food waste refers to losses that occur at the end of the food chain, related to the behaviour of retailers and consumers (Parfitt *et al.*, 2010; FAO, 2012; 2019).

Food losses represent between a quarter and a third of all food produced annually for human consumption (1.3 billion tonnes), according to 2023 data (Benítez, 2023). In Latin America and the Caribbean, food losses are estimated at 10% to 15%, which is above the rate of more developed regions, such as Australia, New Zealand, and countries in East, Southeast, and West Asia (FAO, 2019; Benítez, 2023). In both developing and developed nations, food losses can arise from premature harvesting, whereby farmers harvest crops too early, likely due to food shortages or the pressing need for financial resources in the latter part of the harvest season. Crops harvested before maturity have lower nutritional and economic value, and may be wasted if deemed unsuitable for consumption. A possible prevention action is for small-scale farmers to organize themselves into groups or cooperatives and produce a variety of cash crops and livestock, decreasing the dependence on a single resource. Farmers could also apply for loans from agricultural financial institutions or prepayment from buyers. Another strategy is marketing diversification (FAO, 2012).

In developing countries, poor storage facilities and lack of infrastructure are important causes of food losses, even in the post-harvest phase. Fresh produce, such as fruits, vegetables, meat, and fish can spoil in hot climates due to lack of infrastructure for transportation, storage, cooling, and marketing (Rolle, 2006; FAO, 2012). Such observations on the causes of upstream FLW in developing countries are corroborated by the results of Dora *et al.* (2021). Based on a comprehensive systematic review (1998 to 2018) of FLW and the circular economy, the authors developed a conceptual model for FLW prevention.

These findings point to the need for restructuring supply chains to mitigate FLW in developing countries, with actions aimed at production, post-harvest, and processing. Furthermore, the observations shed light on challenges related to the coordination and organization of food systems, particularly sustainable ones. Food systems comprise a set of actors and their relationships influencing the production, aggregation, processing, distribution, consumption, and disposal of products derived from agriculture, forestry, or fisheries, as well as the broad economic, social, and natural environments in which they are included (FAO, 2018).

In view of this, this article aimed to answer the following questions: (i) What theories have been proposed to explain FLW patterns worldwide? (ii) How can a better understanding of governance relationships in agrifood systems contribute to reducing FLW? (iii) How can food, input, and material suppliers, processing sectors, and buyers work together to develop more sustainable agrifood systems? In the next sections, we outline the methodological procedures, present a systematic review of the literature on FLW, discuss the major contributions of selected studies, and provide concluding remarks.

2 METHODOLOGICAL PROCEDURES

A systematic literature review, employing explicit and replicable methods, is the preferred approach when addressing a substantial research theme. This holds true even in cases where the theme is complex or there is limited existing research (Fink, 2019). Systematic reviews seek to minimize biases that may arise from specific interests or the disciplinary focus of researchers (Tranfield *et al.*, 2003). According to Staples and Niazi (2007), a systematic literature review is undertaken to investigate and analyse published articles with the aim of addressing specific research questions. This method enables researchers to understand the structure of existing studies and identify gaps in the literature, shedding light on topics

that offer potential for future research (Kitchenham, 2004).

The study adopted a quantitative approach to map the available literature on FLW. The quantitative tool Bibliometrix of R software was used to construct a logical bibliometric workflow. R is extensively used in research because it is an object-oriented and functional programming language, making it easy to automate analyses and create functions (Aria and Cuccurullo, 2017). Data were collected through a systematic literature review, chosen for its relevance in knowledge construction. This method offers advantages in terms of enhancing rigour, validating research, and minimizing bias concerning the proposed objectives (Tranfield *et al.*, 2003). Here, we followed the three macro stages proposed by Tranfield *et al.* (2003).

Articles were searched in Web of Science and Scopus databases. These two databases were chosen for their reliable and comprehensive coverage and up-to-date content compared to other databases. These databases have the additional advantage of being compatible with Bibliometrix. Search terms were entered and the ‘all fields’ option was selected. This procedure was taken to ensure that we would locate, select, and analyse the largest number of relevant studies discussing the investigated theme. The document type was set to ‘article’, without date limitation. Articles written in the following three languages were included: English, French, and Portuguese. Given the breadth of publications, it was also necessary to limit results to the fields of administration, agribusiness, and agriculture, as well as multidisciplinary studies related to these fields.

Defining the appropriate research questions is a crucial step that shapes the trajectory of an investigation. Well-crafted research questions help address challenges related to data collection and analysis (Bryman, 2007). Research questions, keywords, and search strings are presented in Table 1.

Table 1 – Research questions, keywords, and search strings used in the systematic literature review on food loss and waste

Research question	Keywords	Search string
What theories have been proposed to explain FLW patterns worldwide?	Food loss, Food waste, Agrifood system, Theor*	“food loss” OR “food waste” AND “agrifood system” AND “theor*”
How can a better understanding of governance relationships in agrifood systems contribute to reducing FLW?	Food loss, Food waste, Agrifood system, Governance	“food loss” OR “food waste” AND “agrifood system” AND “governance”
How can food, input, and material suppliers, processing sectors, and buyers work together to develop more sustainable agrifood systems?	Agrifood system, Sustainable, Actions, Processing, Industry, Suppliers, Buyers	“agrifood system” AND “sustainable” AND “actions” AND “processing” OR “industry” AND “suppliers” AND “buyers”

Source: prepared by the authors (2023).

Table 2 presents the study protocol, detailing all the steps in the systematic literature review.

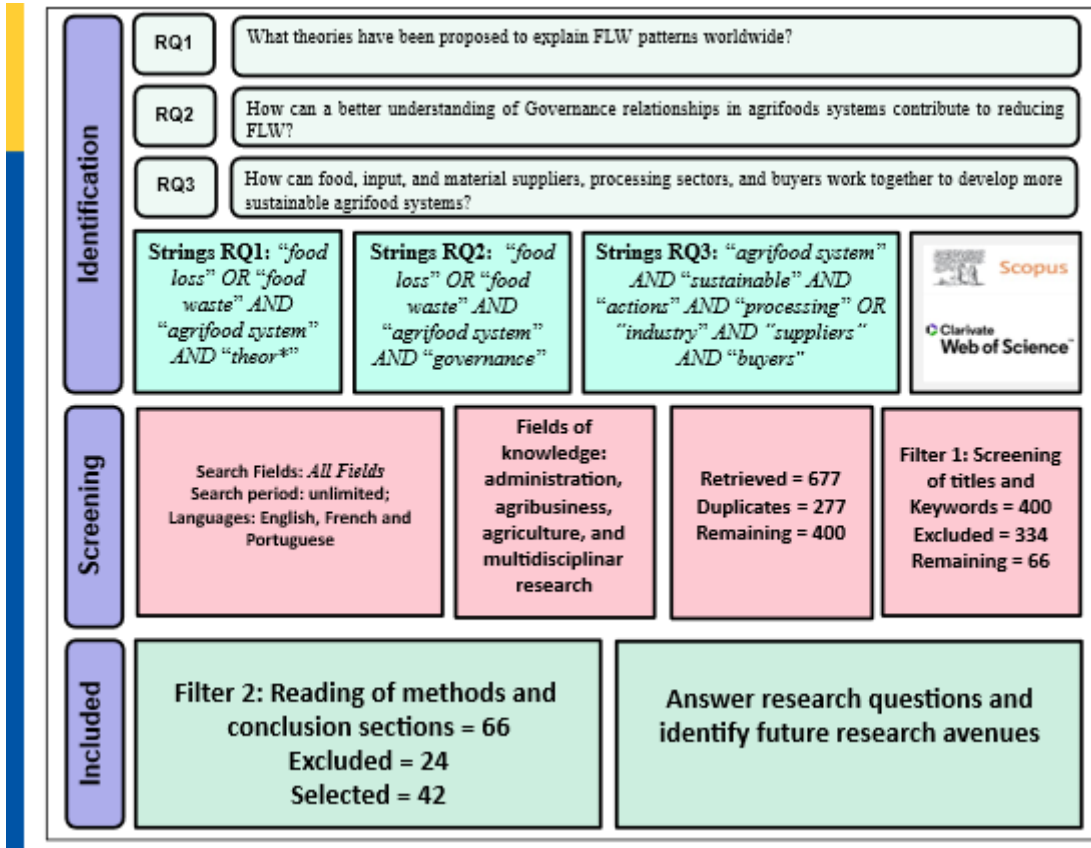
Table 2 – Systematic review protocol

Stage	Steps	Description
Planning	Formulation of research questions	Review questions are defined according to the purpose of the study
		Research development (Figure 1)
	Development of the review protocol for identification of relevant articles	Database search: Scopus and Web of Science
		Search fields: All Fields
Conduction of the review	Article selection and evaluation	Search period: unlimited
		Languages: English, French, and Portuguese
	Analysis and synthesis	Filter 1: screening of titles, abstracts, and keywords
		Filter 2: full text screening
Communication and dissemination	Presentation of reports	Selected articles are read in full
		Research questions are answered
		Main points and existing gaps are summarized

Source: prepared by the authors (2023).

Figure 1 illustrates the filtering process, as highlighted in the research protocol (Table II), according to the Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses flowchart model (PRISMA).

Figure 1 – Filter strategy. Source: prepared by the authors (2023)



3 RESULTS AND DISCUSSION

The searches performed in the Web of Science and Scopus databases retrieved a total of 677 articles. These articles were exported to Excel using the BibTeX extension and then exported to Bibliometrix using the Biblioshiny application of R software. Thus, it was possible to identify 277 duplicate articles, which were excluded. This tool was also used to create a new Excel spreadsheet containing information on each article.

The resulting dataset contained 334 articles, which were subjected to an initial screening step consisting of reading titles, keywords, and abstracts. In this screening phase, all articles that did not focus primarily on FLW or sustainable supply chain management were excluded. A total of 66 articles were selected for the last screening step. After full-text screening, a total of 42 articles were selected to answer the research questions. This set of 42 articles was compiled and used to develop a synthesis of knowledge, as presented in Table III.

3.1 Bibliometric analysis

A total of 244 authors/researchers contributed to the production of the set of 66 articles. A three-field plot showing author keywords and countries from all articles, as well as their interrelationships with countries, was generated. The results evidenced that the United States, United Kingdom, Italy, Germany, and Australia were the main countries where researchers work with themes related to FLW. The United States, for example, excels in research on food waste, food loss, FLW, sustainability, supply chain, food safety, primary production, diet, and food systems. Brazil, on the other hand, holds a relevant position in terms of research on FLW, particularly with regard to supply chain research.

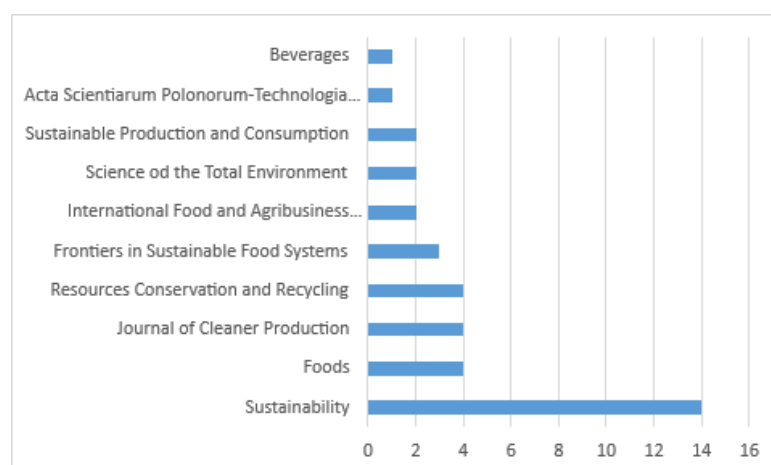
The main author keywords in the selected articles were sustainability, supply chain, and circular economy. It was also found that co-authors from several countries, such as the United States, United Kingdom, Italy, Germany, Australia, Denmark, Costa Rica, Portugal, Bangladesh, Hungary, Norway, Iran, and Switzerland, relate FLW mainly to management, impacts, and structure. Figure 2 shows the most frequent terms found in the sample of articles selected in this study.

Figure 2 – Word cloud. Source: prepared by the authors using Bibliometrix (2023)



Frequency analysis revealed that the most frequent keyword was management ($n = 13$), followed by impacts ($n = 12$), structure ($n = 7$), supply chain ($n = 6$), and sustainability ($n = 5$). The least frequent keywords were science, post-harvest, and storage. These findings suggest that further research on these little-explored topics might help mitigate FLW. The word ‘temperature’ was also among the least frequent, pointing out the need for more studies, reflections, and understanding of the impacts of temperature, climate change, and global warming on FLW. Figure 3 depicts the most relevant journals in FLW research identified in the bibliometric analysis.

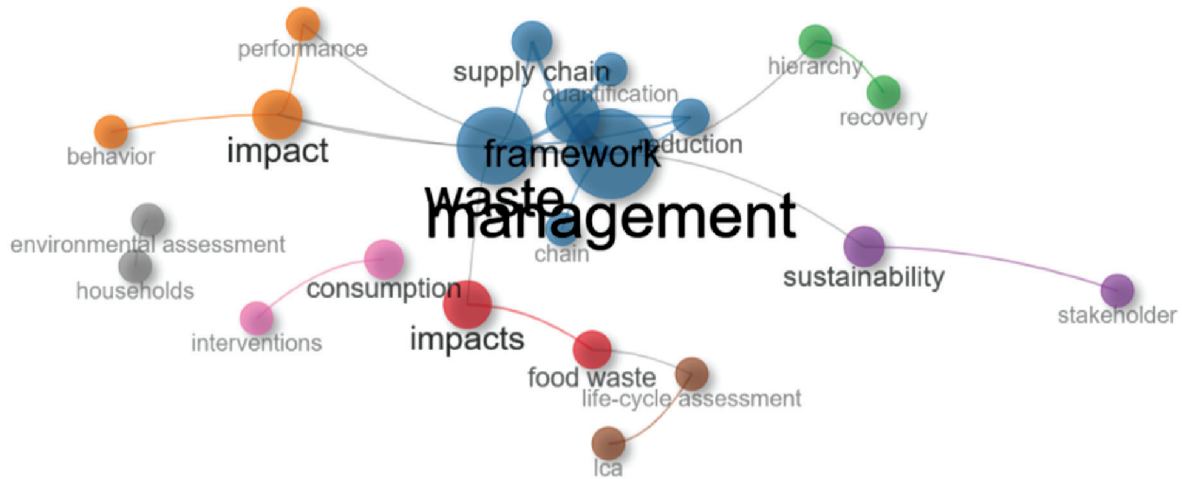
Figure 3 – Most relevant journals in food loss and waste research. Source: prepared by the authors using Bibliometrix (2023)



The most relevant source of articles was *Sustainability*. In general, it was observed that the most important journals addressing FLW in this bibliometric analysis incorporated an environmental dimension, including aspects of sustainability, cleaner production, resource conservation and recycling, sustainable food systems, and sustainable production and consumption. This shows the importance of avoiding FLW to contribute to the achievement of the SDGs and planetary health.

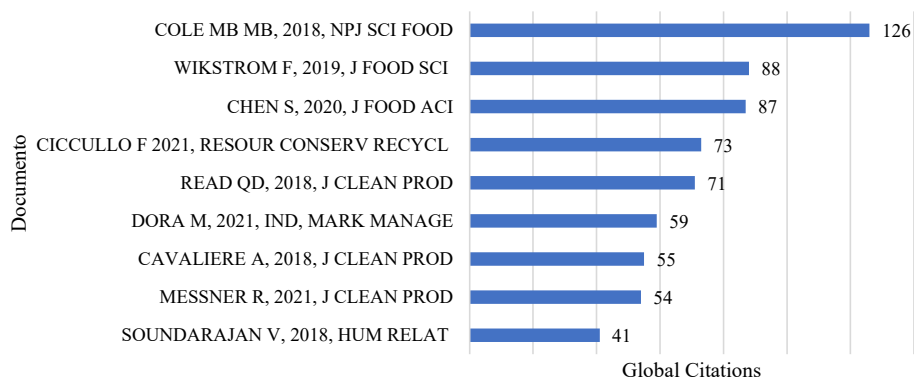
The top-ranking countries in terms of scientific production were the United States, Ukraine, Italy, Germany, and Australia. Figure 4 presents the keyword co-occurrence networks of the analysed articles. This conceptual structure depicts links between co-occurring terms and is commonly used to identify the most important and recent themes in a field of research (Aria and Cuccurullo, 2017).

Figure 4 – Co-occurrence network of keywords. Source: prepared by the authors using Bibliometrix (2023)



The co-occurrence network is formed by several clusters. The blue cluster contains central keywords to the studied sample. The results reveal the relevance of supply chain management to reduce and quantify FLW in various existing structures, as well as the researchers’ concern with sustainability management, given the impacts of FLW. Figure 5 shows the most cited articles addressing this theme.

Figure 5 – Most-cited articles on food loss and waste. Source: prepared by the authors using Bibliometrix (2023)



The most-cited article is entitled ‘The science of food security’. The second is entitled ‘Packaging strategies that save food: a research agenda for 2030’. The third is ‘The role of smart packaging system in food supply chain’. The fourth is ‘Implementing the circular economy paradigm in the agrifood supply chain: the role of food waste prevention technologies’ and the fifth is ‘Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain’.

3.2 Approaches, governance practices, and actions taken to establish sustainable agrifood systems

This subsection addresses the research questions (i) What theories have been proposed to explain FLW patterns worldwide? (ii) How can a better understanding of governance relationships in agrifood systems contribute to reducing FLW? (iii) How can food, input, and material suppliers, processing sectors, and buyers work together to develop more sustainable agrifood systems?

Table 3a – Synthesis of knowledge on food loss and waste (FLW)

References	Theme, geographical scope
Röös <i>et al.</i> (2023)	Food system, Sweden
Pereira <i>et al.</i> (2022)	Soybean production chain, Paraná State, Brazil
Surucu-Balci and Tuna (2022)	Fruit and vegetable chain, Turkey
Matsumoto (2022)	Recall of imported food products, Japan
Dong <i>et al.</i> (2022)	Food supply chain, United States
Magalhães <i>et al.</i> (2022)	Fruit and vegetable supply chain, Portugal
Amani and Sarkodie (2022)	Samples of healthy and spoiled red meat collected in a supermarket, Turkey
Bux and Amicarelli (2022)	Material flow in the poultry sector, Italy
Herzberg <i>et al.</i> (2022)	Fruit and vegetable supply chain, Germany
Lu <i>et al.</i> (2022)	Losses of vegetables, fruits, and staple crops, China
Dergan <i>et al.</i> (2022)	Legume agrifood chain, Slovenia
Küchler and Herzig (2021)	Food supply chain, Germany
Roesler <i>et al.</i> (2021)	Agri-food supply chain, Germany
Alshabanat <i>et al.</i> (2021)	Wheat, rice, dates, vegetables, fruits, meat, chicken, and fish chains, Saudi Arabia
Islam <i>et al.</i> (2021)	Cold food supply chain (fish), (several countries involved)
Ortiz-Gonzalo <i>et al.</i> (2021)	Vegetable supply chain, Thailand
Gorter <i>et al.</i> (2021)	Chicken and fruit chain, The United Kingdom
Cammarelle <i>et al.</i> (2021)	Food and beverage industry, Italy
Toth <i>et al.</i> (2021)	Milk factory, Hungary
Ciccullo <i>et al.</i> (2021)	Food waste in the fruit and vegetable segment, Italy
Ranaei <i>et al.</i> (2021)	Meat food chain, Iran

Source: prepared by the authors (2023).

Table 3b – Synthesis of knowledge on food loss and waste (FLW) (Continuation)

References	Theme, geographical scope
Messner <i>et al.</i> (2021)	Overproduction and surplus in the horticulture supply chain, Australia
Bolanos-Palmieri <i>et al.</i> (2021)	Food waste, Costa Rica
Campos-Rodriguez <i>et al.</i> (2021)	Fruit processing for pulp and beverage production, Costa Rica
Chauhan (2020)	Food industry, India
Kleineidam (2020)	Generic food chain
Read <i>et al.</i> (2020)	Estimated loss rates of 11 food groups in five stages, United States
Chen <i>et al.</i> (2020)	Smart packaging
Jafari <i>et al.</i> (2020)	Food waste, European Union
Baker <i>et al.</i> (2019)	Different agricultural crops, California, USA
Bilska <i>et al.</i> (2019)	Losses of dairy products, Poland
Wohner <i>et al.</i> (2019)	Packaging of dairy products, Austria
Wikstrom <i>et al.</i> (2019)	Packaging strategies
Secondi <i>et al.</i> (2019)	Reuse of food waste in a tomato sauce company, Italy
Verma <i>et al.</i> (2019)	Tomato chain in Nigeria
Pappa <i>et al.</i> (2019)	Dairy industry, Greece
Porter <i>et al.</i> (2018)	Fruits and vegetables, The United Kingdom
Chen and Chen (2018)	Investigation of food waste prevention and diversion, United States
Bacenetti <i>et al.</i> (2018)	Wholemeal bread chain in Italy
Woodhouse <i>et al.</i> (2018)	Sustainability checklist based on LCA theory
Sjauw-Koen-Fa <i>et al.</i> (2016)	Relationship between small producers and large agribusiness companies
Mouron <i>et al.</i> (2016)	French fries supply chain, Switzerland

Source: prepared by the authors (2023).

The articles used different approaches to the topic, the main ones being environmental impacts of the food life cycle, supply chain and stakeholder actions, weight estimates of food losses, circular economy, and sociotechnical transitions. For instance, Dong et al. (2022) estimated mass flow and FLW along the food supply chains of 10 commodity groups and 9 management systems in the United States. Their aim was to devise efficient strategies to reduce, recycle, and recover FLW. Lu et al. (2022) quantified losses in staple crops, vegetables, and fruits using primary data from China. Alshabanat et al. (2021) calculated losses in Saudi Arabia associated with wheat, rice, dates, poultry, vegetables, fruits, fish, and meat using the FAO model proposed by Gustavsson et al. (2013) and FAO (2014).

Using the life cycle approach, Mouron et al. (2016) compared the environmental impacts of losses of fresh and fried potatoes in Switzerland. Wohner et al. (2019) analyzed the emptiability of dairy products in Austria, focusing on the environmental footprint of the chain. Falcone, Giovenzana and Guidetti (2018) evaluated the life cycle of whole-grain toast to determine whether extending the shelf life is an effective mitigation solution from an environmental point of view.

Chauhan (2020) surveyed the supply chains of different food processing organizations in India to assess the role of technology platforms aimed at reducing food waste. Gorter et al. (2021) discussed the economic model of food waste for various agents of the supply chain in the United Kingdom, in the context of chicken and fruit products. The authors showed that the impacts of waste reduction vary according to the commodity, depending on the elasticity of supply and demand, degree of openness to international trade, and initial FLW rates at each stage of the value chain.

Read et al. (2020) used an environmentally extended input–output model articulated with data on FLW rates to calculate the scale of the total environmental impacts of the United States food system associated with FLW. Bilska and Kolożyn-Krajewska (2019) developed a risk management model for dairy product losses using the example of cheese ripening (with data from Polish organizations). The authors found that lowering the redistribution or sale prices of products was effective in reducing product disposal.

From the point of view of governance associated with FLW, Bolanos-Palmieri et al. (2021) contributed to the topic by underscoring the need for multi-lateral and multi-dimensional approaches to addressing the issue. The authors portrayed the Costa Rica FLW Reduction Network, created in 2014, as a collaborative platform between different sectors and disciplines to promote change through communication, awareness, alliances, research, and innovation. The main findings showed that collaborative actions between institutions and sectors are vital to reducing FLW; however, FLW innovation is still in its early stages, and financial and political barriers are present. These conclusions are in line with the findings of Kleineidam (2020) and Pappa and Massouras (2019).

In the context of organizational and inter-organizational actions, Wikstrom et al. (2019) carefully analyzed how packaging systems can prevent FLW. The suggested strategies were the following: identify and obtain specific data from packaging functions that influence food waste; understand the total environmental burden of the product/package, considering the trade-off between product protection/preservation and environmental footprint; improve packaging design processes to encompass food waste reduction; and analyse stakeholder incentives to reduce FLW.

Cammarelle and Viscicchia (2021) investigated the willingness of food and beverage manufacturers to invest in packaging innovations, such as active, smart, and biodegradable packaging. To achieve their objective, the authors conducted a multiple case study with a sample of Italian micro-, small-, and medium-sized enterprises located in the Apulia region. The results showed that many companies were aware of their need for packaging innovation and informed of the available technological opportunities. However, there were some practical implications; the majority did not have a clear understanding of their needs in relation to packaging innovations. These findings highlight the importance of potential and latent demands for innovation and the role of collaborations between research institutions and organizations.

Smart packaging was also addressed by Chen et al. (2020), who reported that packaging systems have evolved due to the integration of emerging electronics, wireless communication, and data cloud solutions.

The authors introduced the concept of integrated food supply chain management, which is fundamental for understanding the tactic and operational components that can improve product traceability throughout the production chain. They discussed the impact of smart packaging on reducing FLW (with the use of sensors, for example) and the potential challenges in manufacturing and deploying smart packaging systems, as well as their disadvantages about costs and sequences in the food supply chain (Chen et al., 2020).

With a focus on agrifood supply chain companies, Ciccullo and Bartezzaghi (2021) investigated the technology portfolio and its detailed objectives for FLW prevention (forecasting, monitoring, clustering, shelf-life extension, product quality, and value addition) by conducting semi-structured interviews with 34 technology providers. The authors argued that these objectives could be reached through different forms of collaboration, such as continuous technical assistance and consulting for data elaboration and analysis or total data sharing and co-design. Finally, the adoption of different technological options may drive vertical collaborations between technology adopters and other segments to combat FLW with a coordinated supply chain effort (Ciccullo; Bartezzaghi, 2021).

Kleineidam (2020) conducted a comprehensive systematic literature review and open-ended interviews with experts, combining empirical and scientific perspectives, to identify the objectives of the implemented FLW measures. The results revealed the importance of increasing cooperation and network transparency within a company and along the entire chain of value. Furthermore, it was found that creating transparency increases value globally, as it can reduce food losses (Kleineidam, 2020).

Islam et al. (2021) showed that traceability technologies have great potential to improve sustainable performance in cold food supply chains by reducing losses. The proposed method was applied in four case studies using data collected from the literature and interviews with experts. The approach can help decision-makers, such as operators of food businesses and technology companies, to identify which combination of technologies best fits a given food supply chain and reduces food loss at a minimal cost.

4 FINAL REMARKS

This systematic review of the literature showed that the United States currently stands out regarding research in food waste, food loss, FLW, sustainability, supply chain, food safety, and primary production, food, and food systems. Brazil, on the other hand, focuses mainly on FLW and its relationship with the supply chain. The journal *Sustainability* is one of the most relevant sources of scientific production on the topic, encompassing different aspects of sustainability associated with FLW.

With regard to the three research questions raised here, the most prominent factors were theoretical approaches to analysing the environmental impacts of the food life cycle, supply chain and stakeholder action, weight estimates of food losses, circular economy, and sociotechnical transitions. From the point of view of governance, the cited authors indicated multi-lateral and multi-dimensional approaches, collaborative actions between institutions and sectors, and increased communication and cooperation between different productive agents. Among organizational and inter-organizational actions, packaging systems, cooperative solutions, transparency within companies and along the food chain, and implementation of electronic traceability systems were found to be the most applied resources.

Finally, this article discussed little-explored perspectives, such as the adoption of theories and governance practices in the supply chain. Several disciplines were incorporated, constituting a multidisciplinary approach that includes aspects of Economics, Environmental Science, Logistics, Nutrition, and Technology. The findings provided a comprehensive view of the causes and consequences of FLW. It was possible to identify significant gaps in the literature and suggestions for future research, such as integrative actions between stakeholders and public policymakers to mitigate FLW. Another original aspect of this study was the critical examination of the adopted methodologies.

There is a need for practical and innovative approaches, homogeneous data validation, and standardized methods that can be applied in different countries and organizations, without disregarding their specificities and cultures.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) (403618/2021-5) for supporting this research.

REFERENCES

- ALSHABANAT, Z.; ALKHORAYEF, A.; BEN HADDAD, H.; MEZGHANI, I.; GOUIDER, A.; TLILI, A.; MOHAMED, A. A.; GANNOUNI, K. A. Quantifying Food Loss and Waste in Saudi Arabia. *Sustainability*, v. 13, n. 16, p. 9444, 2-21, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13169444>
- AMANI, M. A.; SARKODIE, S. A. Mitigating spread of contamination in meat supply chain management using deep learning. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 5037, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08993-5>
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- BACENETTI, J.; CAVALIERE, A.; FALCONE, G.; GIOVENZANA, V.; BANTERLE, A.; GUIDETTI, R. Shelf-life extension as solution for environmental impact mitigation: A case study for bakery products. *Science of the Total Environment*, v. 627, p. 997-1007, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.301>
- BAKER, G. A.; GRAY, L. C.; HARWOOD, M. J.; OSLAND, T. J.; TOOLEY, J. B. C. On-farm food loss in northern and central California: Results of field survey measurements. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 149, p. 541-549, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.022>
- BILSKA, B.; KOŁOŻYŃ-KRAJEWSKA, D. Risk management of dairy product losses as a tool to improve the environment and food rescue. *Foods*, v. 8, n. 10, p. 481, 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8100481>
- BENÍTEZ, R. O. Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe. 2023. Available in: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>. Accessed on: oct. 2023.
- BOLANOS-PALMIERI, C.; JIMÉNEZ-MORALES, M. F.; ROJAS-VARGAS, J.; ARGUEDAS-CAMACHO, M.; BRENES-PERALTA, L. Food loss and waste actions: experiences of the Costa Rican food loss and waste reduction network. *Foods*, v. 10, n. 10, p. 2358, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10102358>
- BRYMAN, A. The research question in social research: what is its role? *International journal of social research methodology*, v. 10, n. 1, p. 5-20, 2007. <https://doi.org/10.1080/13645570600655282>
- BUX, C.; AMICARELLI, V. Separate collection and bio-waste valorization in the Italian poultry sector by material flow analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 24, n. 2, p. 811-823, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01366-0>

CAMMARELLE, A.; LOMBARDI, M.; VISCECCHIA, R. Packaging innovations to reduce food loss and waste: are Italian manufacturers willing to invest? **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1963, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13041963>

CAMPOS-RODRÍGUEZ, R.; BRENES-PERALTA, L.; GARCIA-SALAS, A.; JIMÉNEZ-MORALES, M. F. Food loss assessment in micro, small and medium-sized agroindustrial enterprises. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 34, n. 3, p. 143-155, 2021. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i3.5122>

CHAUHAN, Y. Food waste management with technological platforms: Evidence from Indian food supply chains. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 8162, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12198162>

CHEN, C. R.; CHEN, R. J. C. Using two government food waste recognition programs to understand current reducing food loss and waste activities in the US. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2760, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10082760>

CHEN, S.; BRAHMA, S.; MACKAY, J., CAO, C.; ALIAKBARIAN, B. The role of smart packaging system in food supply chain. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 3, p. 517-525, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15046>

CICCULLO, F.; CAGLIANO, R.; BARTEZZAGHI, G.; PEREGO, A. Implementing the circular economy paradigm in the agri-food supply chain: The role of food waste prevention technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, p. 105114, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105114>

DERGAN, T.; IVANOVSKA, A.; KOCJANČIČ, T.; IANNETTA, P. P.; DEBELJAK, M. Multi-SWOT' Multi-Stakeholder-Based Sustainability Assessment Methodology: Applied to Improve Slovenian Legume-Based Agri-Food Chains. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 15374, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142215374>

DONG, W.; ARMSTRONG, K.; JIN, M.; NIMBALKAR, S.; GUO, W.; ZHUANG, J.; CRESKO, J. A framework to quantify mass flow and assess food loss and waste in the US food supply chain. **Communications Earth & Environment**, v. 3, n. 1, p. 83, 2022. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00414-9>

DORA, M.; BISWAS, S.; CHOUDHARY, S.; NAYAK, R.; IRANI, Z. A system-wide interdisciplinary conceptual framework for food loss and waste mitigation strategies in the supply chain. **Industrial marketing Management**, v. 93, p. 492-508, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.10.013>

FINK, A. **Conducting research literature reviews: From the internet to paper**. Sage publications, 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Pérdidas y desperdicio de alimentos em el mundo – Alcance, causas y prevención**. Roma, 2012. 42p. ISBN 978-92-5-307205-7

_____. **Sustainable food systems: concept and framework**. Roma, 2018. 8p. Available in: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2079en> Accessed on: oct. 2023.

_____. **El Estado mundial de la agricultura alimentacion**. Roma, 2019. 198p. Available in: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2120f787-5a49-41f5-a9fb-f4ceaac98b2c/content>
Accessed on: oct. 2023. ISBN 978-92-5-131854-6

GORTER, H.; DRABIK, D.; JUST, D. R.; REYNOLDS, C.; SETHI, G. Analyzing the economics of food loss and waste reductions in a food supply chain. **Food Policy**, v. 98, p. 101953, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101953>

GUSTAVSSON, J.; OSTERGREN, K. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. SIANI, **Policy Brief**, June, 2015. 4p. Available in: https://www.siani.se/wp-content/uploads/2017/10/siani_policy_brief_flw_hlpe_june_23_web.pdf Accessed on: oct. 2023.

GORTER, H.; DRABIK, D.; JUST, D. R.; REYNOLDS, C.; SETHI, G. Analyzing the economics of food loss and waste reductions in a food supply chain. **Food Policy**, v. 98, p. 101953, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101953>

HERZBERG, R.; SCHMIDT, T.; KECK, M. Market power and food loss at the producer-retailer interface of fruit and vegetable supply chains in Germany. **Sustainability Science**, v. 17, n. 6, p. 2253-2267, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01083-x>

ISLAM, S.; MANNING, L.; CULLEN, J. M. A hybrid traceability technology selection approach for sustainable food supply chains. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9385, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13169385>

JAFARI, Y.; BRITZ, W.; DUDU, H.; ROSON, R.; SARTORI, M. Can food waste reduction in Europe help to increase food availability and reduce pressure on natural resources globally? **AgEcon Search – Research in Agricultural & Applied Economics**, 2020. <https://doi.org/10.30430/69.2020.2.143-168>

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele University Technical Report TR/SE-0401**. Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004. ISSN:1353-7776

KLEINEIDAM, J. Fields of action for designing measures to avoid food losses in logistics networks. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6093, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12156093>

KÜCHLER, R.; HERZIG, C. Connectivity is key: holistic sustainability assessment and reporting from the perspective of food manufacturers. **British Food Journal**, v. 123, n. 9, p. 3154-3171, 2021. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2021-0317>

LU, S.; CHENG, G.; LI, T.; XUE, L.; LIU, X.; HUANG, J.; LIU, G. Quantifying supply chain food loss in China with primary data: A large-scale, field-survey based analysis for staple food, vegetables, and fruits. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 106006, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106006>

MAGALHÃES, V. S. M.; FERREIRA, L. M. D. F.; SILVA, C. Prioritising food loss and waste mitigation strategies in the fruit and vegetable supply chain: A multi-criteria approach. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 569-581, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.022>

MATSUMOTO, T. Domestic and Imported Food Product Recalls in Japan: Trend Analysis and Preventive Measures. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7863, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14137863>

MESSNER, R.; JOHNSON, H.; RICHARDS, C. From surplus-to-waste: A study of systemic overproduction, surplus and food waste in horticultural supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123952, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123952>

MOURON, P.; WILLERSINN, C.; MÖBIUS, S.; LANSCH, J. Environmental profile of the Swiss supply chain for French fries: Effects of food loss reduction, loss treatments and process modifications. **Sustainability**, v. 8, n. 12, p. 1214, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8121214>

ORTIZ-GONZALO, D.; ORTENBLAD, S. B.; LARSEN, M. N.; SUEBPONGSANG, P.; BRUUN, T. B. Food loss and waste and the modernization of vegetable value chains in Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 174, p. 105714, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105714>

PAPPA, I.; ILLIOPOULOS, C.; MASSOURAS, T. On sustainability of a dairy sector in crisis. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 10, n. 2, p. 130-150, 2019. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.345314>

PARFITT, J.; BARTHEL, M.; MACNAUGHTON, S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, p. 3065-3081, 2010. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>

PEREIRA, R. P. T.; GALO, N. R.; FILIMONAU, V. Food loss and waste from farm to gate in Brazilian soybean production. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, p. 100431, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100431>

PLATAFORMA AGENDA 2030. Agenda 2030, 2021. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/> Acesso em: ag. 2021

PORTER, S. D.; REAY, D. S.; BOMBERG, E.; HIGGINS, P. Avoidable food losses and associated production-phase greenhouse gas emissions arising from application of cosmetic standards to fresh fruit and vegetables in Europe and the UK. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 869-878, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.079>

RANAIEI, V.; PILEVAR, Z.; ESFANDIARI, C.; KHANEGHAH, A. M.; DHAKAL, R.; VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; HOSSEINI, H. Meat value chain losses in Iran. **Food Science of Animal Resources**, v. 41, n. 1, p. 16, 2021. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e52>

READ, Q. D.; BROWN, S.; CUÉLLAR, A. D.; FINN, S. M.; GEPHART, J. A.; MARSTON, L. T.; MEYER, E.; WEITZ, K. A.; MUTH, M. K. Assessing the environmental impacts of halving food loss and waste along the food supply chain. **Science of the Total Environment**, v. 712, p. 136255, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136255>

ROLLE, R. S. **Postharvest management of fruit and vegetables in the Asia-Pacific Region**. Rome, Italy, 2006. 312p. ISBN: 92-833-7051-1

RÖÖS, E.; WOOD, A.; SÄLL, S.; HATAB, A. A.; AHLGREN, S.; HALLSTRÖM, E.; P. TIDÅKER; HANSSON, H. Diagnostic, regenerative or fossil-free-exploring stakeholder perceptions of Swedish food system sustainability. **Ecological Economics**, v. 203, p. 107623, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107623>

- RÖSLER, F.; KREYENSCHMIDT, J.; RITTER, G. Recommendation of Good Practice in the Food-Processing Industry for Preventing and Handling Food Loss and Waste. *Sustainability* 2021, 13, 9569. <https://doi.org/10.3390/su13179569>
- SECONDI, L.; PRINCIPATO, L.; RUINI, L.; GUIDI, M. Reusing food waste in food manufacturing companies: the case of the tomato-sauce supply Chain. *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 2154, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11072154>
- SJAUW-KOEN-FA, A. R.; BLOK, V.; OMTA, S. W. F. Critical Success Factors for Smallholder Inclusion in High Value-Adding Supply Chains by Food & Agribusiness Multinational Enterprise. *International Food and Agribusiness Management Review*, v. 19, n. 1, p. 83-112, 2016. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.230835>
- SURUCU-BALCI, E.; TUNA, O. The role of collaboration in tackling food loss and waste: Salient stakeholder perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 367, p. 133126, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133126>
- STAPLES, M.; NIAZI, M. Experiences using systematic review guidelines. *Journal of Systems and Software*, v. 80, n. 9, p. 1425-1437, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.09.046>
- TÓTH, K.; BORBÉLY, C.; NAGY, B.; SZABÓ-SZENTGRÓTI, G.; SZABÓ-SZENTGRÓTI, E. Measurement of food losses in a Hungarian dairy processing plant. *Foods*, v. 10, n. 2, p. 229, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10020229>
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003. <https://doi.org/10.3390/foods10020229>
- VERMA, M.; PLAISIER, C.; VAN WAGENBERG, C. P.; ACHTERBOSCH, T. A systems approach to food loss and solutions: Understanding practices, causes, and indicators. *Towards Sustainable Global Food Systems*, v. 11, n. 3, p. 102-120, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11030579>
- WIKSTROM, F.; VERGHESE, K.; AURAS, R.; OLSSON, A.; WILLIAMS, H.; WEVER, R.; GRONMAN, K.; PETTERSEN, M. K.; MOLLER, H; SOUKKA, R. Packaging strategies that save food: a research agenda for 2030. *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.1111/jiec.12769>
- WOHNER, B.; SCHWARZINGER, N.; GÜRLICH, U.; HEINRICH, V.; TACKER, M. Technical emptiability of dairy product packaging and its environmental implications in Austria. *PeerJ*, v. 7, p. e7578, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7578>
- WOODHOUSE, A.; DAVIS, J.; PÉNICAUD, C.; ÖSTERGREN, K. Sustainability checklist in support of the design of food processing. *Sustainable Production and Consumption*, v. 16, p. 110-120, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.06.008>

ESTRATÉGIAS BANCÁRIAS REGIONAIS: UM ESTUDO CLASSIFICATÓRIO DE MUNICÍPIOS PARA O CASO BRASILEIRO NOS ANOS DE 2013 E 2016

Regional banking strategies: a classifying study of municipalities for the brazilian case in the years 2013 and 2016

Celso Lopes Lacerda Junior

Economista. Mestrando em Economia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR-465, Km 07, Seropédica, RJ, CEP: 23890-000. celsoecon@gmail.com

Teófilo Henrique Pereira de Paula

Economista. Doutorado em economia. Professor Associado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Campus de Três Rios). Av. Prefeito Alberto Lavinias, 1847. Centro, Três Rios, RJ. CEP: 25802-100. thpaula@ufrj.br

Fábio Junior Clemente Gama

Economista. Doutorado em Economia. Professor Adjunto da Universidade Federal do Delta do Parnaíba. Av. São Sebastião 2819, Nossa Sra. de Fátima, Parnaíba, PI. CEP: 64202-020. fabio.gama@ufdpar.edu.br

Resumo: Este artigo aborda a heterogeneidade das regiões brasileiras em termos de desenvolvimento econômico sob uma perspectiva monetária. A hipótese central é que os bancos têm estratégias distintas para cada região e não se comportam como meros intermediadores transacionais, mas atuam ativamente captando recursos nas diversas localidades, aplicando onde melhor lhes convém. Dessa forma, os agentes bancários acabam por induzir o crescimento de algumas regiões em detrimento de outras. A análise refere-se aos anos de 2013 e 2016 por representarem, respectivamente, períodos de expansão e de recessão. A correlação da preferência pela liquidez e o dinamismo econômico regional foi verificada por meio da análise multivariada.

Palavras-chave: Heterogeneidade Regional.

Abstract: This article addresses the heterogeneity of Brazilian regions in terms of economic development from a monetary perspective. The central hypothesis is that banks have different strategies for each region and do not behave just as transactional intermediaries, but act actively by capturing resources in different locations, investing where it best suits them. In this way, banking agents end up inducing the growth of some regions to the detriment of others. The analysis refers to the years 2013 and 2016 as they represent, respectively, periods of expansion and recession. The correlation between liquidity preference and regional economic dynamism was verified through multivariate analysis.

Keywords: Regional Heterogeneity.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo aborda a heterogeneidade das regiões brasileiras sob uma perspectiva monetária. O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento dos agentes bancários e sua influência no desenvolvimento econômico regional. Dada a forma distinta como a concentração de recursos ocorre em cada região, propõe-se uma classificação para os diversos municípios brasileiros. Considera-se que a abordagem centro-periferia, que se refere ao relacionamento dinâmico entre centros dominantes e áreas vizinhas, pode ser insuficiente para representar o alto grau de heterogeneidade brasileira. Diversos fatores são responsáveis pela diversidade regional. Este trabalho foca, especificamente, na interação entre os agentes bancários e não bancários, a qual varia entre as regiões. Ao contrário do que supõe a teoria econômica dominante, os bancos não se comportam como meros intermediadores transacionais, mas especialmente como maximizadores de lucro, captando recursos nas diversas localidades e aplicando onde melhor convém. Dessa forma, a política de oferta de crédito pode favorecer regiões percebidas por esses agentes como mais rentáveis, contribuindo para o seu crescimento, frequentemente em detrimento de outras.

No *mainstream* do pensamento econômico a moeda é considerada neutra, pelo menos no longo prazo. Contudo, ao se considerar a preferência pela liquidez, a escola pós-keynesiana atribui à moeda um papel ativo na determinação das taxas de crescimento econômico regional. Em outros termos, fatores comportamentais encontram-se subjacentes à tomada de decisão dos agentes bancários, resultando no acirramento das disparidades regionais. Tais disparidades regionais são tratadas no modelo pós-keynesiano em termos de centro-periferia. O presente estudo considera que a relação entre preferência pela liquidez e o grau de centralidade de uma região pode se revelar mais complexa do que a relação pressuposta pelos modelos pós-keynesianos. No sentido de se testar esta hipótese, o presente estudo faz um exercício de classificação alternativo à classificação tradicional de centro-periferia. Busca-se estabelecer uma caracterização que considere a heterogeneidade em questão e a relação desta com os diferentes níveis de centralidade regional.

Para tanto, a análise foi realizada em três etapas. Na primeira, item 2, fez-se uma breve discussão dos elementos teóricos que subsidiam o estudo. Na seção 3, faz-se uma análise descritiva das diferenças regionais brasileiras com base em variáveis reais e bancárias a fim de se identificar padrões que permitam uma classificação. Na terceira etapa, seção 4, realizou-se uma análise multivariada, de componentes principais (PCA) e de *cluster*, a partir da qual é proposta uma classificação dos municípios brasileiros. Ao final, seguem alguns comentários à título de conclusão.

Com respeito à metodologia utilizada no presente trabalho, inicialmente é realizada uma análise dos dados extraídos de fontes oficiais, tais como IBGE, BACEN e FIRJAN. Esta análise preliminar é importante para um melhor entendimento acerca da população estudada. Em um segundo momento, realiza-se uma análise multivariada dos dados em duas etapas: uma análise exploratória de componentes principais (PCA) e, a partir dos resultados encontrados, uma análise de cluster não hierárquica, a qual separa a população total de municípios com agência bancária em 4 grupos distintos, com características específicas quanto ao dinamismo econômico e estratégias bancárias. Conforme será demonstrado, tais análises corroboram a hipótese apresentada no texto.

2 MOEDA E ECONOMIA REGIONAL

Desde os autores clássicos da economia regional – dentre os quais pode-se citar Von Thünen (1826), Weber (1909), Christaller (1933) e Lösch (1940), apud Haddad (1989) – até desenvolvimentos da Nova Geografia Econômica (Fujita et al., 2002), a moeda não é pensada como um elemento ativo quanto à alocação dos fatores no espaço. Até mesmo autores keynesianos como Kaldor (1970), não conferem à moeda um papel relevante neste quesito. Ou seja, o modelo kaldoriano, ao pressupor uma oferta monetária completamente elástica (hipótese horizontalista da curva de oferta de moeda) implica ausência de preferência pela liquidez por parte dos bancos (De Paula et al., 2020). Coube aos pós-keynesianos, fiéis às ideias originais de Keynes quanto ao papel da incerteza, preencher a referida lacuna.

Uma das principais proposições do arcabouço pós-keynesiano refere-se ao caráter endógeno da oferta monetária. Embora esta preocupação já conste dos escritos de Keynes, o desenvolvimento do tema pode ser creditado aos autores pós-keynesianos. De acordo com esses, a criação de moeda é impulsionada pelo crédito e determinada pela demanda (Arestis e Dunn, 1999, p. 3). É impulsionada pelo crédito porque a produção toma tempo e os custos de produção devem ser pagos antes que se apure a receita das vendas. A decisão de investir envolve a criação de moeda, que se procede por meio da expansão do crédito. Por outro lado, tal expansão é determinada pela demanda, já que raramente as reservas dos bancos comerciais se constituirão em fator restritivo para a concessão de crédito. A função de emprestador de última instância do Banco Central, operações de redesconto, inovações financeiras, administração de ativos e de passivos e acesso a mercados financeiros internacionais são alguns dos fatores que explicam por que os bancos primeiro fazem empréstimos para depois se preocuparem com seus níveis de reservas (Wray, 2012, p. 37). Nesta perspectiva, qualquer aumento no nível de liquidez da economia depende mais da demanda por crédito (preferência pela liquidez dos tomadores de empréstimos) e da disposição dos bancos em ofertá-lo (preferência pela liquidez dos bancos) do que da intervenção direta do banco central. Dessa forma, as particularidades das economias locais influenciarão as referidas preferências pela liquidez, conferindo especificidade aos mercados de crédito regionais.

Chick e Dow (1988) abordam a relação entre as atividades bancárias e o desenvolvimento regional a partir dos seguintes elementos teóricos: i) estágio de desenvolvimento do setor bancário de cada região e; ii) preferência pela liquidez dos agentes bancários e não bancários. Com respeito ao primeiro, sua importância decorre do fato de que a capacidade de expansão do crédito pode aumentar com a evolução do sistema bancário a partir do desenvolvimento de mecanismos que minimizam as restrições impostas pelo nível de reservas ou pela regulação do setor; diferenças nos sistemas bancários regionais podem conduzir a distintos padrões de criação de crédito e desenvolvimento regional. Quanto ao segundo, procura-se ressaltar a interação entre as expectativas dos agentes e os padrões de desenvolvimento regionais; em outros termos, a preferência pela liquidez – uma propriedade emergente espacialmente localizada – é determinada e ao mesmo tempo determina o desempenho econômico de uma dada região.

Do ponto de vista empírico, o método abordado neste estudo consiste em comparar regiões com distintos graus de desenvolvimento e identificar padrões de comportamento do setor bancário que permita captar a diferença entre as fases dos ciclos de negócios (crescimento e recessão). Dow (1993), por exemplo, comparou regiões com distintos níveis de desenvolvimento e concluiu que expansões monetárias nacionais têm maiores efeitos em uma região desenvolvida devido a uma menor preferência pela liquidez e a uma menor propensão a importar. Em outro trabalho, Rodriguez-Fuentes e Dow (2003) analisam os impactos regionais da unificação monetária europeia, tomando como base um estudo sobre a estabilidade do mercado de crédito em diferentes regiões da Espanha. Com a utilização de técnicas de dados em painel e considerando informações anuais para o período 1986-2001, tais autores estimaram um modelo para analisar a taxa de crescimento do crédito, o crescimento e recessão do PIB, para dezessete regiões. Tais regiões foram separadas, de acordo com a renda *per capita* relativa, em grupos de regiões mais e menos desenvolvidas. Os resultados mostraram que durante períodos de expansão a taxa de crescimento do crédito nas regiões mais pobres foi 69% maior que nas regiões ricas, enquanto no período de baixo crescimento foi 72% menor. A autora argumenta que estes resultados corroboram a teoria pós-keynesiana, a qual reivindica uma maior instabilidade da expansão do crédito em regiões menos desenvolvidas ao longo dos ciclos econômicos. Nesses termos, a instabilidade do crédito não é explicada por diferenças estruturais, mas por mudanças no comportamento dos agentes do sistema financeiro, o qual é influenciado pela forma de condução da política monetária (Rodriguez-Fuentes e Dow, 2003, p. 977).

Particularmente, Dow (1993, p. 149) atesta que a preferência pela liquidez tende a ser maior na periferia em função de uma percepção de risco é mais elevada e de uma maior instabilidade da economia local que alimenta as atividades especulativas. Adicionalmente, os ativos do centro apresentarão maior liquidez que os da periferia pelos seguintes motivos: i) por abrigar o centro financeiro, nas regiões centrais o acesso aos mercados é facilitado e o volume comercializado é maior, assim como a disponibilidade de instrumen-

tos financeiros; e ii) mesmo se os ativos da periferia são comercializados no centro, a distância, a carência de informações sobre os tomadores de empréstimos e o volume relativamente pequeno de comercialização desses ativos contribuirão para enfraquecer os seus mercados. A possibilidade de perda de capital será então latente na periferia dado que a alta preferência pela liquidez de seus residentes implicará sempre uma preferência relativamente maior por ativos do centro, com efeitos depressivos sobre o preço de ativos locais. Como resultado, investimentos no centro desfrutarão de uma maior disponibilidade de crédito que aqueles realizados na periferia. O comportamento financeiro acima descrito concorre para a acentuação do desenvolvimento desigual na medida em que exerce uma pressão para baixo sobre o preço dos ativos da periferia, ao mesmo tempo em que fortalece o mercado de ativos do centro.

A generalização da perspectiva regional pós-keynesiana implica uma relação linear (inversamente proporcional) entre preferência pela liquidez e grau de *centralidade* (Christaller, 1966, apud De Paula, 2008) de uma região. Como parte do debate, De Paula (2008) salienta, entretanto, que essa hipótese pode falhar quando se tratar de regiões extremamente periféricas, uma vez que nessas a demanda por moeda para o motivo especulação seria insignificante em função de uma deficiência de renda. Além do mais, para regiões historicamente estagnadas não haveria incerteza, mas sim, a certeza de que continuariam estagnadas. Tais regiões se encontrariam, desse modo, em um equilíbrio subótimo. Esse fato teria implicações importantes para a determinação do investimento regional e exigiria a formulação de políticas regionais específicas.

Da breve discussão realizada nos parágrafos anteriores, depreende-se sinteticamente que: i) a moeda tem papel ativo quanto ao desenvolvimento regional; ii) economias periféricas são relativamente mais instáveis; iii) existe heterogeneidade intragrupo no que se refere às periferias. Os pontos (i) e (ii) têm sido bastante explorados pela literatura empírica sobre o tema. Não obstante, a hipótese da existência de periferias diferenciadas merece ser testada na medida que, se corroborada, pode ensejar estratégias de políticas de desenvolvimento específica para tais regiões. Nesse sentido, os itens que se seguem apresentam um exercício de classificação com vistas a contribuir para a identificação de padrões de interação entre os lados real e monetário no contexto regional.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE UM SISTEMA BANCÁRIO INTEGRADO

Os dados analisados neste artigo foram extraídos de bases públicas estratificadas a nível municipal (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Federação da Indústria do Estado do Rio de Janeiro - FIRJAN e Estatística Bancária Mensal por Município - ESTBAN). As variáveis reais da economia, tais como PIB, PIB *per capita*, população, valor adicionado ao PIB municipal (pelo setor serviço, indústria, agricultura e administração pública¹) foram extraídos das bases de dados publicados pelo IBGE. Destaque-se também que, neste trabalho, os valores adicionados dos quatro setores descritos acima estão apresentados como percentual do PIB municipal. As variáveis bancárias e financeiras, tais como Depósitos à vista, Depósitos a prazo, Poupança e Créditos Totais foram extraídos dos balancetes bancários, referentes ao mês 12 de cada ano, publicados pelo BACEN, quais sejam, as Estatísticas Bancárias Mensal por Município – ESTBAN (Circular BCB nº 1273, de 29/12/1987). Os referidos dados financeiros foram transformados em percentual dos Ativos Bancários. A variável de desenvolvimento econômico (IFDM) analisada foi o Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal criado em 2008 pela FIRJAN. Este índice pondera de forma igualitária o Emprego e Renda, Educação e Saúde. Possui periodicidade de divulgação anual e estratificação a nível municipal. O Quadro 1 apresenta um resumo das variáveis trabalhadas.

¹ Neste trabalho, a rubrica “administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social” elaborada pelo IBGE será referida apenas como “Administração Pública”.

Quadro 1 – Variáveis Elencadas para Base de Dados

Nome da Variável	Descrição dos Dados	Fonte
PIB Municipal	Valor do PIB municipal.	IBGE
População	População estimada por município brasileiro	IBGE
Renda Per Capita	Razão entre o PIB municipal e a população municipal.	IBGE
Poupança (Verbetes 420) / Ativo Total (Verbetes 399)	Valores captados em depósitos de poupança divididos pelo Ativo total dos balancetes bancários municipais.	ESTBAN
Depósitos à Vista (Verbetes diversos) / Ativo Total (Verbetes 399)	Depósitos captados do público, classificados em Circulante, contabilizados em função do prazo efetivo da exigibilidade do depósito e divididos pelo Ativo total dos balancetes bancários municipais.	ESTBAN
Depósitos a Prazo (432) / Ativo Total (Verbetes 399)	Depósitos captados do público, classificados em Longo Prazo, contabilizados em função do prazo efetivo da exigibilidade do depósito divididos pelo Ativo total dos balancetes bancários municipais.	ESTBAN
Valor Adicionado Agricultura / PIB Municipal	Valor estimado, em moeda corrente, do valor adicionado ao PIB municipal pelo setor de agricultura dividido pelo valor do PIB municipal.	IBGE
Valor Adicionado Serviços / PIB Municipal	Valor estimado, em moeda corrente, do valor adicionado ao PIB municipal pelo setor de serviços dividido pelo valor do PIB municipal.	IBGE
Valor Adicionado Indústria / PIB Municipal	Valor estimado, em moeda corrente, do valor adicionado ao PIB municipal pelo setor de indústria dividido pelo valor do PIB municipal.	IBGE
Valor Adicionado Administração Pública / PIB Municipal	Valor estimado, em moeda corrente, do valor adicionado ao PIB municipal pela Administração Pública dividido pelo valor do PIB municipal.	IBGE
PLB	Depósitos à Vista/Operações de Crédito	ESTBAN

Fonte: Elaboração própria, com base nos arquivos baixados do Banco Central e IBGE.

O conceito keynesiano de preferência pela liquidez recebe o *status* de variável chave para explicar a composição do portfólio dos agentes econômicos (De Paula et al., 2020). A preferência pela liquidez é um comportamento do agente econômico em resposta às incertezas keynesianas. Nesse sentido, os autores pós-keynesianos têm se empenhado em desenvolver uma variável que seja apta para captar o grau do estado de confiança dos agentes bancários em determinada região. A *proxy* utilizada neste trabalho tem fundamento no indicador desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais – Cedeplar/UFMG (Crocco et al., 2011), na qual essa variável comportamental é calculada como uma razão entre os Depósitos à Vista do público em relação às Operações de Crédito total.

$$PLB = \frac{\text{Depósitos à vista}}{\text{Operações de Crédito}}$$

Os dados analisados evidenciam a concentração extrema de recursos em algumas poucas cidades. Nesse aspecto, os municípios centrais possuem uma realidade completamente distinta do restante da população de municípios. Como exemplo, a Tabela 1, com dados de 2016, permite concluir que apenas 17 (0,31%) municípios, com 22% da população total, concentraram 31,70% do PIB do país, enquanto 1.237 (22,3%) municípios, com 2% da população total, foram responsáveis por apenas cerca de 1,5% do PIB do país, sendo que deste, 34% do valor adicionado é representado pelo serviço público no período analisado, ou seja, sem nenhum dinamismo econômico. Ou seja, a grande massa de municípios espalhados pelo país vive uma realidade econômica completamente distinta dos centros, com uma enorme disparidade.

Tabela 1 – PIB municipal e população em 2016

População	2016		
	Municípios	PIB (%)	População (%)
(0-5.000]	1237	1.48	2.03
(5.000-20.000]	2573	8.15	13.64
(20.000-50.000]	1100	11.06	16.22
(50.000-100.000]	350	9.53	11.77
(100.000-250.000]	198	15.06	14.58
(250.000-500.000]	69	13.35	11.81
(500.000-1.000.000]	24	9.68	7.98
(1.000.000-12.000.000]	17	31.70	21.96

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do IGBE, Produto Interno Bruto dos Municípios 2016.

Nota Explicativa: A tabela acima apresenta na primeira coluna a faixa de população; na segunda a quantidade de municípios por cada faixa de população; na terceira o total de PIB por faixa de observação dividido por 1.000; na coluna (%) PIB apresenta os percentuais de PIB para cada faixa de observação; na coluna (Σ) População o somatório da população por faixa de observação e na coluna População (%) consta o percentual da população que se localiza em municípios em cada faixa de observação.

A Tabela 2 apresenta a média do percentual do valor adicionado ao PIB dos municípios brasileiros pelos setores indústria, serviços, agropecuária e administração pública por classe de população, com dados do período de 2016. A tabela ilustra a relação entre o tamanho do município e o percentual da participação de tais setores. Depreende-se desta observação que há uma relação inversa entre o tamanho dos municípios e, por assim dizer, seu dinamismo econômico, medidos tanto em termos populacionais quanto em termos de PIB, e o percentual de participação do setor administração pública na formação do PIB municipal. De forma que podemos utilizar a proporção de valor agregado de cada um desses setores para auxiliar na caracterização dos diversos municípios analisados. Ou seja, quanto maior o tamanho dos municípios e seu dinamismo econômico, menor é a participação do setor público na formação do PIB e, dessa forma, maior é participação dos setores produtivos. Sendo assim, observa-se que os municípios com maior dinamismo econômico possuem maior participação dos setores serviços e indústria (não querendo dizer que o setor de agricultura não seja produtivo). Contudo, é importante esclarecer que o IBGE não distingue o tipo de serviço contabilizado em sua rubrica. Nessa rubrica, valor adicionado do setor de serviços, encontra-se tanto serviços de baixa tecnologia e valor agregado, que ocorrem nos municípios menores e com baixo dinamismo econômico, quanto serviços com alto valor agregado e com mais tecnologia. Porém, ainda assim, é possível observar que o percentual de valor adicionado pelo setor de serviços é maior nos municípios maiores, onde predominam serviços de alto valor agregado, de forma que podemos utilizar essa rubrica (valor adicionado do setor de serviços) como uma proxy para o dinamismo econômico. Partindo dessa premissa, as evidências apontam que os municípios menores das Regiões Norte e Nordeste possuem maior participação da administração pública, quando comparados aos menores municípios das demais regiões, indicando que as periferias do Norte e do Nordeste possuem economias menos dinâmicas que as periferias do restante do País.

Tabela 2 – Percentual médio de Valor Adicionado ao PIB Municipal pelos setores da Indústria, Serviços, Agricultura e Administração Pública por Faixa de População – 2016

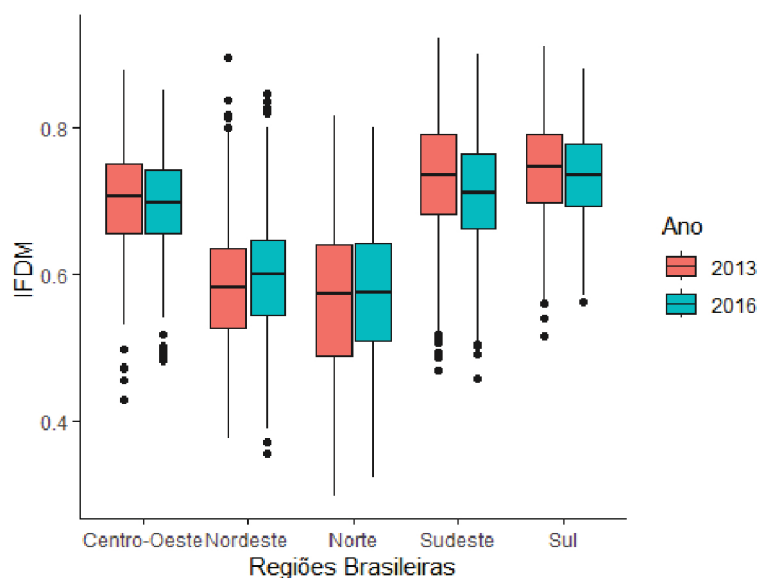
População	Municípios	% VA Indústria (Média)	% VA Serviços (Média)	% VA Agricultura (Média)	% VA Administração Pública (Média)
(0-5.000]	1.237	8.41	24.05	29.02	33.83
(5.000-20.000]	2.573	10.94	28.66	20.84	33.94
(20.000-50.000]	1.100	13.86	35.13	14.59	28.98
(50.000-100.000]	350	17.35	41.12	9.48	22.33
(100.000-250.000]	198	21.35	45.60	3.22	17.89
(250.000-500.000]	69	20.60	49.18	1.28	15.79
(500.000-1.000.000]	24	18.61	52.60	0.45	14.03
(1.000.000-12.000.000]	17	14.35	55.70	0.16	14.62

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IGBE, referentes ao Produto Interno Bruto dos Municípios 2016.

Nota Explicativa: A tabela é formada por 6 colunas sendo que a primeira coluna apresenta a faixa de população dos municípios; a segunda coluna apresenta a quantidade de municípios em cada faixa de população; as quatro colunas seguintes apresentam a média do percentual de valor agregado de cada um dos setores Indústria (% VA Indústria), Serviços (% VA Serviços.), Agricultura (% VA Agric.) e Administração Pública (% VA Administração Pública).

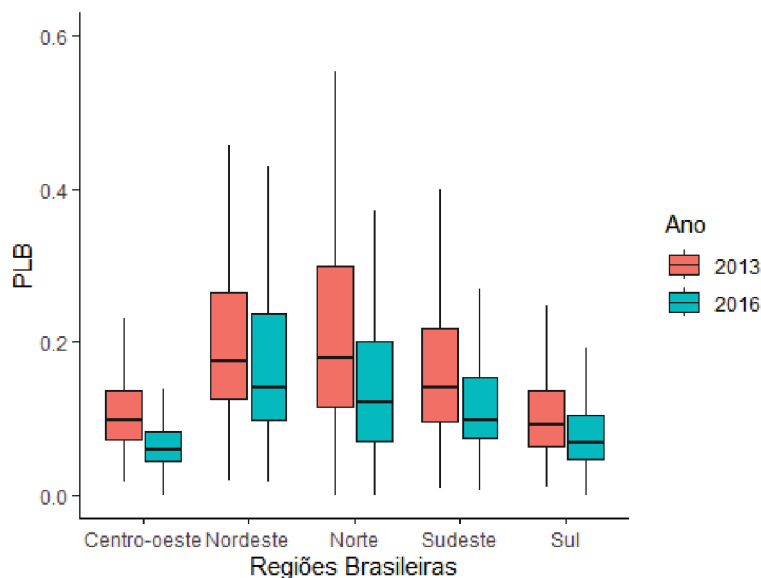
O dinamismo econômico também se reflete no nível de desenvolvimento econômico dos municípios. O Gráfico 1 abaixo apresenta os dados do IFDM como proxy do desenvolvimento econômico municipal. O referido gráfico demonstra as diferenças dos níveis de desenvolvimento entre as regiões. Ou seja, o gráfico demonstra a concentração de municípios com baixos níveis de desenvolvimento econômico é maior nas Regiões Norte e Nordeste que nas demais regiões.

Gráfico 1 – IFDM por Regiões Brasileiras



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IFDM, de 2013 e 2016

Gráfico 2 – PLB por Regiões Brasileiras



Fonte: Elaboração própria com base em dados do ESTIBAN, de 2013 e 2016

Quanto aos fatores bancários, as evidências apontam para a mesma tendência do dinamismo econômico. O Gráfico 2 indica que em determinados municípios os bancos tendem a ter elevada preferência pela liquidez. Segundo Keynes (1936), o agente bancário possui a mesma expectativa do demandante de recursos para construção de um novo empreendimento, qual seja, a expectativa futura de retorno do investimento. Para o agente bancário, essa expectativa governa tanto a decisão de se instalar em uma região quanto a decisão de financiar um empreendimento produtivo. Por isso, o agente bancário procura as oportunidades mais rentáveis dentro das opções mais seguras a fim de proteger seu investimento que geralmente concentram-se em regiões econômicas mais dinâmicas, ou por assim dizer, mais centrais com mercados mais desenvolvidos (Christaller, 1966; Loch, 1967 *apud* Costa e Nijkamp, 2009).

4 CLASSIFICAÇÃO CENTRO-PERIFERIA

O objetivo desta seção é o de classificar as localidades a partir das diferenças espaciais, no que se refere às diferenças econômicas regionais e à preferência pela liquidez dos bancos (PLB) a partir dos atributos regionais, que são tanto variáveis reais da economia quanto variáveis bancárias. O foco é a distinção das localidades com relação a diversos graus de centralidade na população de municípios brasileiros. Para tanto, esta análise foi realizada em duas etapas. Na primeira, realizou-se análise exploratória de componentes principais (PCA) e, na segunda, uma análise de cluster. A análise de componentes principais foi aplicada às variáveis apresentadas no Quadro 1, para descrever os atributos das diversas variáveis simultaneamente, a fim de avaliar quais são as mais significativas. A análise de cluster teve por objetivo reunir as observações similares e separá-las das observações distintas e, assim, formar grupos por similaridades, objetivando elaborar uma estrutura classificatória. Neste trabalho, optou-se pela utilização do método de clusterização não-hierárquico k-means².

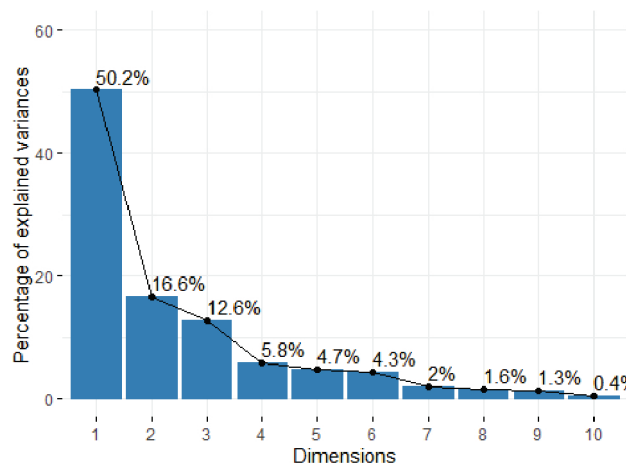
Análise de Componentes Principais - PCA

Esta seção apresenta os resultados da Análise de Componentes Principais – PCA. A análise levou em consideração as variáveis reais e bancárias, dos períodos de 2013 e 2016, totalizando 11 (onze) variáveis estudadas abaixo. As variáveis processadas referem-se ao valor adicionado dos setores da indústria, serviços, agricultura e administração pública em participação percentual do PIB Municipal, além das variáveis bancárias como participação no total do ativo bancário, que são Depósitos à Vista, Depósitos a Prazo e Poupança.

2 Para maiores detalhes sobre os métodos de Análise Multivariada de PCA e cluster, ver HAIR et al., 2006.

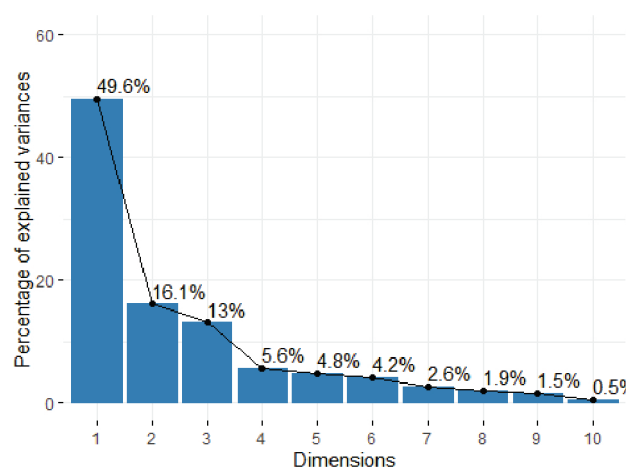
Os Gráficos 3 e 4, abaixo, representam os componentes principais elaborados pelo método PCA. Cada barra representa a porcentagem explicativa do componente principal. O rótulo, no topo de cada barra, informa o valor de cada percentual de variação explicativa dos referidos componentes principais. Com relação ao exercício de 2013, a dimensão 1 (PC1) explica 50,2% da variância dos dados, enquanto a dimensão 2 (PC2) explica 16,6%. Para o exercício de 2016, a dimensão 1 (PC1) explica 49,6% da variância dos dados, enquanto a dimensão 2 (PC2) explica 16,1%. Selecionados apenas os dois primeiros componentes principais para uma análise bidimensional, tem-se uma capacidade explicativa de 66,8% e 65,7% das variações dos dados, o que significa a perda de 33,2% e 34,3% da capacidade de explicação dos dados, para os exercícios de 2013 e 2016 respectivamente. Cabe ressaltar que os percentuais explicativos dos componentes principais se apresentaram numericamente baixos. Por isso, não houve a pretensão de seguir com a redução de variáveis em componentes principais, como tradicionalmente realizado por esse método. Utilizou-se, sim, desse método como uma análise exploratória inicial, pois o mesmo modelo mostrou-se com uma capacidade de explicação significativa com relação à correlação das diversas variáveis estudadas, sinalizando quais variáveis são mais ou menos correlacionadas. Por isso, foi desprezada a utilização dos componentes principais para permanecer a utilizar-se das variáveis originais propriamente dito para a elaboração da análise de cluster.

Gráfico 3 – Componentes Principais (2013)



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN - 2013

Gráfico 4 – Componentes Principais (2016)



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN - 2016

A Tabela 3 abaixo apresenta a análise de PCA com dados do exercício de 2013, que demonstra a correlação entre as variáveis e os componentes principais de forma a facilitar o entendimento das características determinantes para classificação dos municípios.

Tabela 3 – Componentes Principais (Autovetores) – 2013

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
pib	-0.34	0.23	0.21	-0.07	0.43	0.11	-0.01	0.00	0.03	0.03	-0.22
renda_capita	-0.22	0.49	-0.32	0.06	-0.02	0.10	-0.37	-0.08	0.10	0.19	-0.53
va_industr	-0.26	0.36	0.00	-0.35	-0.41	-0.29	0.64	0.06	-0.09	0.08	-0.08
va_serv	-0.25	-0.07	0.28	0.67	-0.35	0.44	0.25	-0.11	-0.02	0.10	-0.08
va_agric	0.18	-0.09	-0.62	0.13	0.40	0.28	0.53	0.10	-0.14	0.05	-0.14
va_ad_publ	0.27	-0.45	0.27	-0.07	-0.04	-0.21	0.07	0.09	-0.03	0.27	-0.72
populacao	-0.29	0.00	0.45	-0.12	0.54	0.07	0.21	0.02	-0.04	-0.05	0.02
Financ	-0.32	-0.27	-0.20	0.09	0.07	-0.35	0.00	-0.74	-0.26	-0.17	-0.08
Dep_vista	-0.30	-0.36	-0.15	-0.36	-0.06	0.27	-0.03	-0.15	0.30	0.62	0.22
Poupanca	-0.33	-0.33	-0.15	-0.20	-0.16	0.20	0.00	0.20	0.38	-0.65	-0.24
Dep_Prazo	-0.36	-0.20	-0.10	-0.06	-0.10	0.06	-0.25	0.45	-0.73	0.06	0.03
PLB	0.31	0.11	0.15	-0.45	-0.14	0.58	-0.02	-0.39	-0.34	-0.17	-0.12

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IGBE e ESTBAN - 2013;

Conforme a Tabela 3 acima, as variáveis de PIB, valor adicionado de serviços e população são positivamente correlacionados com ambos os componentes principais, 1 e 2, situando tais vetores no primeiro quadrante do gráfico de vetores que será apresentado mais à frente (Gráficos 6 e 7). As variáveis: renda per capita, valor adicionado da indústria e depósitos a prazo estão positivamente correlacionados com o primeiro componente principal e negativamente correlacionado com o segundo componente principal, o que as coloca no segundo quadrante do gráfico de vetores. A variável de valor adicionado pela agricultura é negativamente correlacionada com os dois primeiros componentes principais, situando o vetor no terceiro quadrante do gráfico de vetores. As variáveis de valor adicionado pela administração pública, depósitos à vista, poupança e PLB estão negativamente correlacionadas com o primeiro componente principal e positivamente correlacionadas com o segundo componente principal, o que as coloca no quarto quadrante do gráfico de vetores.

A Tabela 4 abaixo apresenta a análise de PCA com dados do exercício de 2016. De forma similar ao apresentado na Tabela 3, as variáveis de PIB, valor adicionado de serviços e população são positivamente correlacionados com ambos os componentes principais, 1 e 2, situando tais vetores no primeiro quadrante do gráfico de vetores que será apresentado mais à frente (Gráficos 3 e 4). As variáveis “renda per capita”, “valor adicionado da indústria” e “depósitos a prazo” estão positivamente correlacionados com o primeiro componente principal e negativamente correlacionado com o segundo componente principal, o que as coloca no segundo quadrante do gráfico de vetores. A variável de valor adicionado pela agricultura é negativamente correlacionada com os dois primeiros componentes principais, situando o vetor no terceiro quadrante do gráfico de vetores. As variáveis de valor adicionado pela administração pública, depósitos à vista, poupança e PLB estão negativamente correlacionadas com o primeiro componente principal e positivamente correlacionadas com o segundo componente principal, o que as coloca no quarto quadrante do gráfico de vetores.

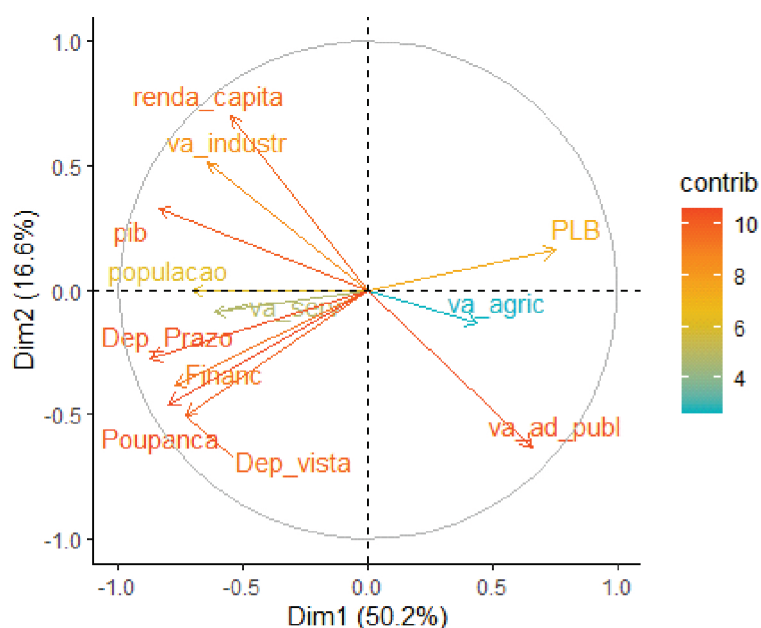
Tabela 4 – Componentes Principais (Autovetores) – 2016

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
piib	-0.35	0.17	0.25	-0.09	0.45	0.04	0.10	-0.02	-0.04	-0.02	0.24
renda_capita	-0.21	0.56	-0.21	-0.08	-0.03	-0.10	0.07	-0.38	-0.07	-0.09	0.54
va_industr	-0.26	0.34	0.12	0.54	-0.33	0.17	-0.03	0.60	0.04	-0.08	0.11
va_serv	-0.26	-0.12	0.24	-0.60	-0.46	-0.39	0.20	0.29	0.01	-0.08	0.10
va_agric	0.18	0.06	-0.61	-0.23	0.38	-0.14	-0.01	0.58	0.11	-0.06	0.14
va_ad_publ	0.27	-0.50	0.17	0.10	-0.04	0.17	-0.12	0.04	0.06	-0.15	0.75
populacao	-0.29	-0.12	0.41	-0.06	0.55	0.10	0.08	0.21	-0.01	0.04	-0.05
Dep_vista	-0.30	-0.20	-0.29	-0.04	-0.11	0.46	0.52	-0.10	0.51	0.15	0.01
Poupanca	-0.30	-0.34	-0.26	0.29	0.06	-0.20	0.26	-0.08	-0.35	-0.63	-0.11
Dep_Prazo	-0.33	-0.29	-0.24	0.20	-0.03	-0.24	-0.08	0.02	-0.34	0.71	0.16
PLB	-0.35	-0.13	-0.05	0.12	0.05	-0.34	-0.55	-0.13	0.62	-0.13	-0.04

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IGBE e ESTBAN - 2016.

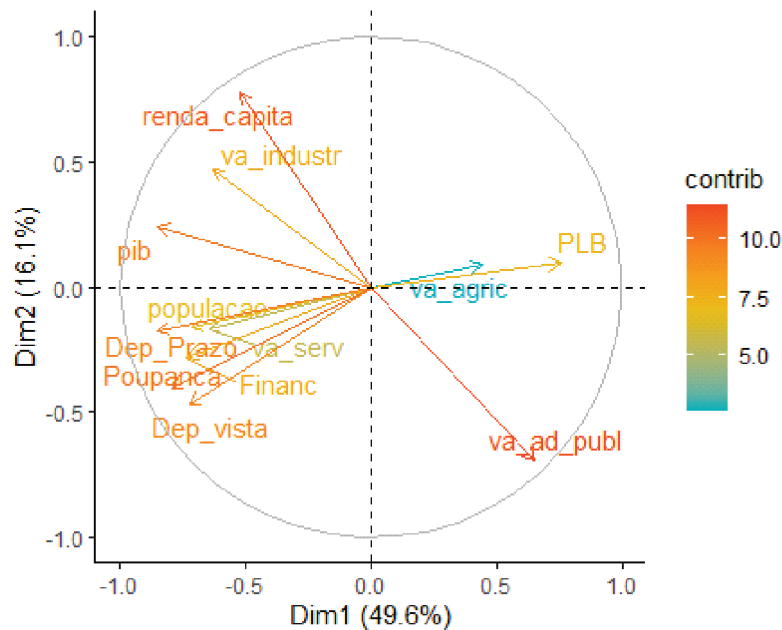
Os Gráficos 5 e 6 abaixo apresentam a correlação dos vetores representativos dos dados analisados com os dois maiores componentes principais resultantes do modelo de PCA utilizado neste trabalho. Tais vetores demonstraram que as variáveis analisadas são relevantes para o modelo, particularmente nossa variável de interesse, a PLB. Os vetores PIB municipal, renda per capita, população, valor adicionado pela indústria, valor adicionado pelo setor de serviços, bem como os vetores representativos das estratégias bancárias, quais sejam Depósito à vista, poupança, financiamento e depósito a prazo se mostraram todos positivamente correlacionados, demonstrando que tais variáveis representam as regiões desenvolvidas. Por outro lado, os vetores representativos do valor adicionado pelo serviço público, do valor adicionado pela agricultura e da PLB estão negativamente correlacionados com todos os demais vetores analisados, demonstrando representar os municípios com baixo dinamismo econômico. Ou seja, é possível depreender da leitura do gráfico que os municípios com elevado percentual de valor agregado, ou predominantemente representados pelos setores da agricultura ou pelo serviço público, em geral possuem menor dinamismo econômico. Sendo assim, tais municípios apresentaram uma maior correlação com uma maior PLB.

Gráfico 5 – Gráfico de Vetores para dados de 2013



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN – 2013.

Gráfico 6 – Gráfico de Vetores para dados de 2016



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN – 2016.

Análise de Cluster

A análise de cluster elaborada nesta seção utilizou como base a análise de PCA elaborada anteriormente. As variáveis latentes foram calculadas apenas com base nas variáveis PIB municipal, população, PLB e valor adicionado pelo setor de serviços e valor adicionado pelo setor da administração pública, uma vez que essas variáveis se apresentaram mais significativas no resultado da análise de PCA.

Nos Gráficos 7 e 8 são plotados os grupos de municípios de acordo com a relevância de cada atributo em relação à componente principal calculada anteriormente. Portanto, uma vez que o algoritmo relaciona os registros por similaridade, os municípios plotados nos gráficos foram agrupados. Quanto mais próximos os pontos plotados, mais similares as características de cada ponto, enquanto quanto mais afastados, menos similares. Da observação do gráfico depreende-se que as grandes metrópoles, formadas pelas duas capitais (Rio de Janeiro e São Paulo), ambas da Região Sudeste, são verdadeiras outliers em comparação com o resto dos municípios brasileiros. Essas duas cidades têm em comum um elevado peso do setor de serviços em relação ao restante dos municípios brasileiros e uma participação relativa dos setores da agricultura e serviço público reduzida em comparação com os demais. Embora a grande massa de municípios possua uma realidade extremamente distante das duas metrópoles, foi possível agrupar os demais municípios em mais três grupos distintos, sendo os centros, regiões que se destacam pelo maior dinamismo econômico, as periferias, que em algumas localidades sequer contam com agências bancárias, que sobrevivem predominantemente dos recursos públicos e de serviços sem dinamismo econômico, e as regiões intermediárias.

Gráfico 7 – Gráfico de Clusters dos Municípios - 2013

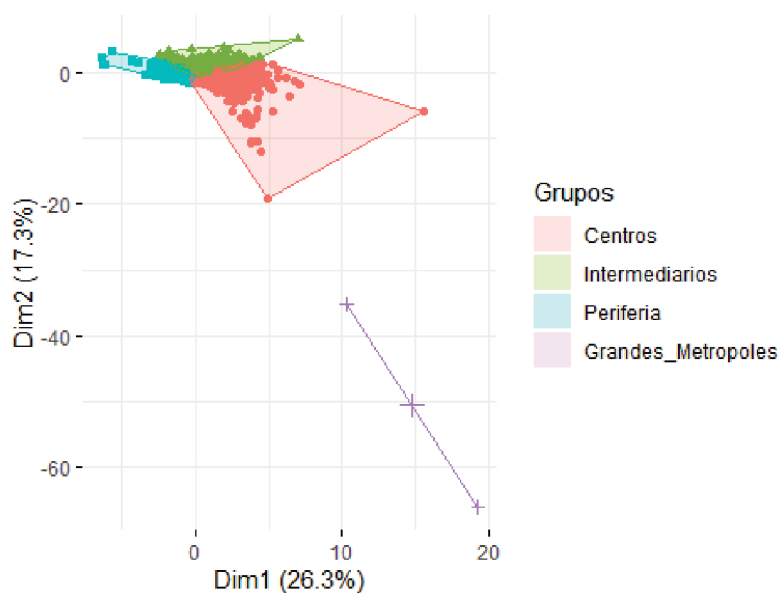
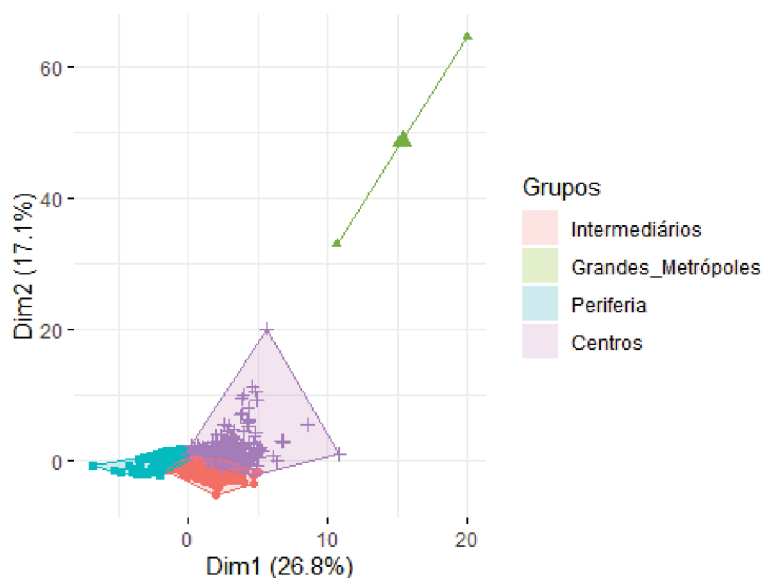


Gráfico 8 – Gráfico de Clusters dos Municípios - 2016



Dessa forma, é possível observar a formação de 4 grupos (Grandes Metrôpoles, Centros, intermediários e Periferia), tanto no Gráfico 5 quanto no Gráfico 6, com dados de 2013 e 2016 respectivamente. O grupo “Grandes Metrôpoles” se apresenta com características completamente distintas dos demais grupos. Isso ocorre, pois, as grandes metrôpoles brasileiras possuem uma realidade econômica completamente diversa dos demais municípios brasileiros.

A Tabela 5 apresenta os valores dos centroides de cada grupo analisado. A análise dos centroides da coluna PLB nos permite ordenar os grupos, tanto para o período de 2013 quanto para o de 2016. O grupo com a menor PLB está relacionada ao grupo Grandes Metrôpoles, que possui maiores PIB e população e maior proporção do valor adicionado pelo setor de serviços em seu PIB municipal. Ao contrário, o grupo com a maior PLB está relacionado com o grupo Periferia, que possui o maior valor adicionado pelo setor da Administração Pública, com menor PIB municipal e menor população.

Tabela 5 – Centroides do Cluster referente aos dados IBGE -2013 e 2016

Cluster	2016					2013				
	PIB	va_serv	va_ad_publ	populacao	PLB	PIB	va_serv	va_ad_publ	populacao	PLB
Grandes_Metrópoles	44.2	2.6	-1.2	42.2	-0.4	44.6	2.5	-1.3	42.5	-0.5
Centros	0.2	0.8	-1.0	0.3	-0.3	0.2	0.8	-0.9	0.2	-0.4
Intermediários	-0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.2
Periferias	-0.1	-0.7	0.6	-0.1	0.5	-0.1	-0.7	0.6	-0.1	0.5

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE e ESTBAN – 2013 e 2016 (valores padronizados).

A Tabela 6 abaixo apresenta a proporção de municípios de cada região brasileira contidos em cada *cluster*. O grupo “Grandes_Metrópoles” é formado pelas grandes metrópoles brasileiras, São Paulo e Rio de Janeiro. No grupo “Centros”, predominam municípios das regiões sudeste, sul e nordeste (88% e 86% das observações, em 2013 e 2016 respectivamente). No grupo “Intermediários”, as regiões com menor participação são as regiões Norte e Centro-Oeste (16% e 13% das observações, em 2013 e 2016 respectivamente). Contudo, conforme observa-se na Tabela 04, o grupo “Intermediários”, muito embora seja também composto basicamente por municípios das Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, diferencia-se do segundo pelo fato de que possuem menor PIB municipal, menor proporção do valor agregado de serviços, maior participação Administração Pública no PIB municipal, menor tamanho de população. No grupo “Periferia”, predominam os municípios com a maior PLB, representados pelos municípios da Região Nordeste, com 41% e 40% das observações, em 2013 e 2016, respectivamente.

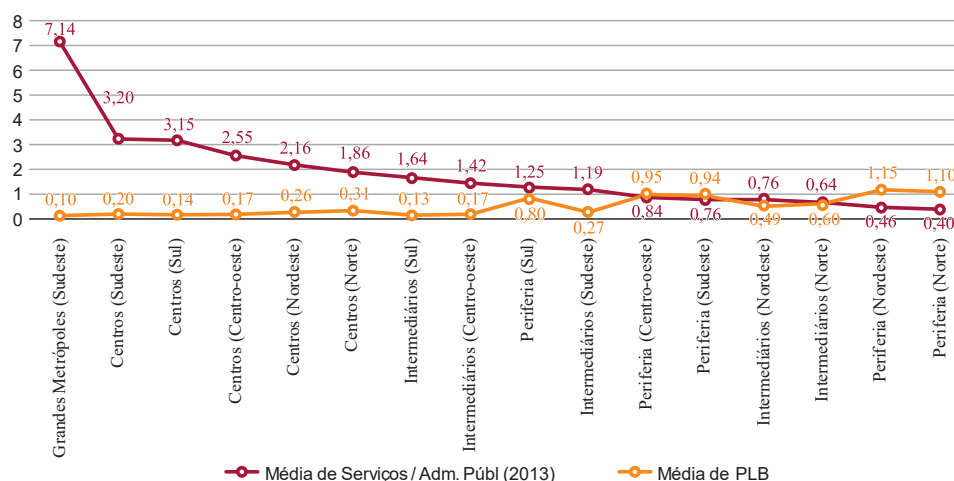
Tabela 6 – Quantidade de Municípios por Região por Cluster – 2013 e 2016

Regiões	2013				2016			
	Grandes Metrópoles 2013 (%)	Centros 2013 (%)	Intermediários 2013 (%)	Periferia 2013 (%)	Grandes Metrópoles 2016 (%)	Centros 2016 (%)	Intermediários 2016 (%)	Periferia 2016 (%)
Centro-Oeste	0%	9%	9%	8%	0%	11%	7%	8%
Nordeste	0%	15%	38%	41%	0%	12%	40%	40%
Norte	0%	3%	7%	12%	0%	4%	6%	12%
Sudeste	100%	43%	30%	19%	100%	44%	31%	19%
Sul	0%	30%	16%	19%	0%	30%	16%	20%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE, Produto Interno Bruto dos Municípios 2013 e 2016.

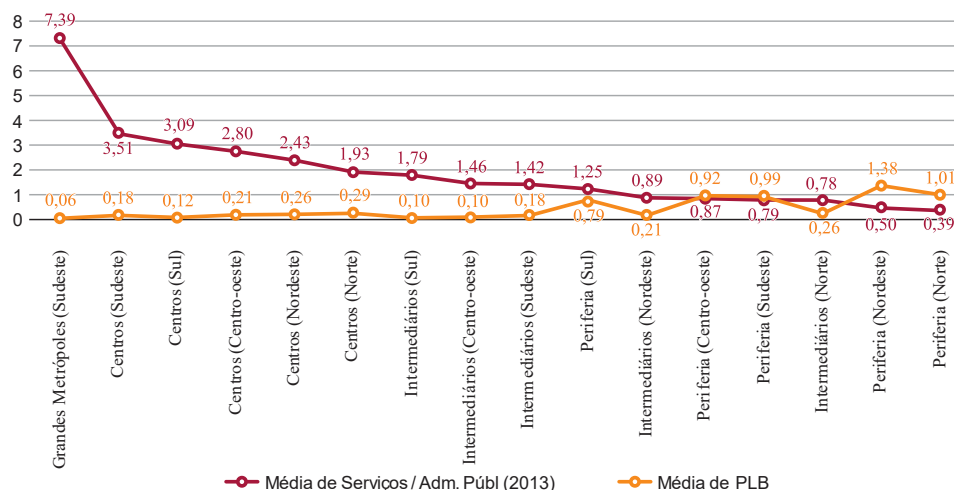
Os Gráficos 9 e 10 abaixo apresentam a média de PLB e o quociente do valor adicionado pelo setor de serviços pelo valor adicionado pela administração pública (Serviços/Administração pública) para os dois exercícios analisados. A relação Serviços/Administração pública sumariza o dinamismo econômico municipal, na medida que, a menor a participação relativa da administração pública na composição do PIB, mostra maior dinamismo do setor privado. O gráfico abaixo destaca as diversas regiões representadas dentro de cada *cluster* elaborado nesta seção. O gráfico demonstra que o dinamismo decresce na medida em que se reduz o quociente gastos com serviços sobre gastos com administração pública e se avança da periferia para os Grandes Centros no Sudeste. Por outro lado, a preferência pela liquidez dos bancos (PLB) cresce na medida em que se desloca dos grandes centros e se direciona para as regiões mais periféricas. Esse padrão reafirma novamente a teoria de que quanto menor o dinamismo econômico maior a PLB.

Gráfico 9 – Dinamismo econômico e preferência pela liquidez por região brasileira (2013)



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN – 2013.

Gráfico 10 – Dinamismo econômico e preferência pela liquidez por região brasileira (2016)



Fonte: Elaboração própria com base em dados do IGBE e ESTBAN – 2016.

Sendo assim, existe uma relação inversa entre o dinamismo econômico e a PLB, de forma que a preferência pela liquidez dos bancos (PLB) cresce na medida em que se desloca dos Grandes Centros em direção as regiões mais periféricas. Portanto, uma vez que é possível distinguir os municípios em diversos clusters, com valores de PLB bem definidos em cada cluster, depreende-se que, conforme esperado, o grupo com a menor PLB também possui o maior dinamismo econômico e maior participação do setor de serviços em seu PIB municipal, o grupo Grandes Metrópoles. Ao contrário, o grupo com a maior PLB está relacionado com o grupo Periferia, que possui o maior valor adicionado pelo setor da Administração Pública. Por outro lado, analisando a representatividade das regiões brasileiras nos clusters formados, é possível depreender também que as Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste estão melhor representadas com as maiores economias municipais.

5 Considerações Finais

Neste artigo realizou-se uma análise com foco no dinamismo econômico regional e da concentração de recursos produtivos e financeiros a fim de estabelecer padrões regionais e determinar se há influência regional sobre a preferência pela liquidez dos agentes produtivos a fim de elaborar classificações distintas para as regiões brasileiras.

A partir dos dados do IFDM, foi possível concluir que centros locais da Região Norte e Nordeste cujo IFDM tenham valores inferiores a 0,5 são menos desenvolvidos que os demais centros locais de qualquer outra região brasileira. Essa conclusão inicial aponta para o baixo dinamismo econômico dos centros locais situados nas Regiões Norte e Nordeste. Um fato inesperado foi a elevação marginal na mediana dos valores do IFDM para a Região Nordeste, entre 2013 e 2016, ao contrário do que se observou na Região Sudeste, onde houve uma redução. Todas as demais regiões mantiveram suas medianas. Contudo, tal elevação da mediana dos valores de IFDM nos municípios da Região Nordeste não foi suficiente para mudar a faixa de valores característica para os municípios dessa região, mantendo tais municípios na mesma faixa de valores que em 2013. Por outro lado, a recessão sofrida pela economia em 2016 afetou substancialmente os municípios mais ricos. Já os municípios mais pobres não tiveram uma variação tão brusca em suas economias como ocorreu com os municípios mais ricos. Sendo assim, é possível que tal redução da mediana nos valores de IFDM dos municípios da Região Sudeste tenha captado a piora na economia dos municípios da Região Sudeste.

Não obstante, os dados também apontaram para uma forte concentração da produção nos municípios mais populosos, enquanto nos municípios menores a produção é significativamente inferior, tanto para o período de 2013 quanto para o período de 2016, tendo como reflexo um crescimento da concentração da renda durante o período. Outro ponto observado na análise exploratória dos dados, foi a identificação de alguns padrões de relacionamento entre as variáveis atributos. Ou seja, na média, quanto maior o dinamismo econômico do município, percebe-se uma maior participação da indústria e serviços em detrimento da participação da agricultura e Administração Pública. O contrário é verdadeiro, ou seja, os municípios menores apresentam maior participação da agricultura e da Administração Pública na formação do PIB municipal. Esse padrão se repete em todas as análises realizadas, seja na análise do PCA, seja na análise de cluster.

A análise multivariada (PCA e cluster) aplicada para os anos de 2013 e 2016, apontou que foi possível verificar um comportamento estável dos dados para os dois períodos, de forma que se formaram grupos distintos entre si e com alta similaridade intragrupo, quais sejam, os grupos “Grandes Metrôpoles”, “Centros”, “Intermediários” e “Periferia”, os quais se caracterizam da seguinte forma: o primeiro é formado exclusivamente pelas grandes metrópoles da Região Sudeste, São Paulo e Rio de Janeiro; no segundo predominam municípios das Regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste; o terceiro, muito embora seja também composto basicamente por municípios das Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, diferencia-se do segundo pelo fato de que possuem menor PIB municipal, menor proporção do valor agregado de serviços, maior participação Administração Pública no PIB municipal, menor tamanho de população; por fim, no último grupo predominam os municípios da Região Nordeste.

A PLB, por sua vez, apresenta comportamento decrescente em relação à centralidade de cada conjunto de municípios, o que se verifica nos dois períodos analisados. Esse é, de fato, o comportamento preconizado pela teoria. Mais especificamente, pode-se dizer que o grupo de maior centralidade é o grupo “Grandes Metrôpoles”, sendo seguido por “Centros”, “Intermediários” e “Periferia”. Por fim, cabe ressaltar que os dados corroboram o argumento básico do presente trabalho, qual seja o fato de que, enquanto o primeiro e o segundo grupo apresentam características centrais, os dois últimos possuem características periféricas. Adicionalmente, como ficou demonstrado, os centros e as periferias possuem significativas distinções. Tais fatos indicam que a diversidade regional é mais rica do que pressupõe o modelo dual centro-periferia, sendo que o comportamento bancário pode estar contribuindo para a acentuação ou, pelo menos, para a manutenção das disparidades regionais. Tal constatação é importante no que tange à formulação de políticas de desenvolvimento, uma vez que permite prescrições mais ajustadas às especificidades regionais.

REFERÊNCIAS

- AMADO, A. M. A questão regional e o sistema financeiro no Brasil: uma interpretação pós-keynesiana. **Estudos Econômicos**. São Paulo, v. 27, n. 3, p. 417-440, 1997.
- ARESTIS, P.; DUNN, S. P. Post Keynesian Economics and Its Critics. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 21, n. 4, p. 527-549, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/01603477.199.11490212>
- BRAGA, L.; RAIMUNDINI, S.; BIANCHI, M. Incerteza, Preferência pela Liquidez e Insuficiência de Demanda Efetiva: Evidências Empíricas sobre a Crise Financeira de 2008. **ConTexto - Contabilidade em Texto**, Porto Alegre, v. 10, n. 17, p. 79–91, 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/view/12909>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- CARVALHO, F. J. C. de. **Keynes e os Pós-Keynesianos: Princípios de macroeconomia para uma economia monetária de produção**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2020
- CHICK, V.; DOW, S. **Uma perspectiva pós-keynesiana sobre a relação entre bancos e desenvolvimento regional**. *Stirling Economics Discussion Papers* PE / 88/1, Universidade de Stirling, Divisão de Economia. 1988.
- COSTA, J. S.; NIJKAMP, P. (Coordenação). **Compêndio de economia regional**. Vol. I: Teoria, Temática e Política. Edição e Copyright: PrincípiA, Cascais. 1ª Ed. Novembro de 2009.
- CROCCO, M. A. Centralidade e hierarquia do sistema financeiro brasileiro. **Nova Economia**, [S. l.], v. 22, n. 1, 2012. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/1667>. Acesso em: 13 abr. 2023.
- CROCCO, M. A.; SANTOS, F.; FIGUEIREDO, A. Exclusão financeira no Brasil: uma análise regional exploratória. **Revista de Economia Política**, v. 33, n. 3, p. 505-526, 2013.
- CROCCO, M. A.; NOGUEIRA, M.; ANDRADE, C. M. C. de; DINIZ, G. F. C. O Estudo do Gap Regional de Crédito e seus Determinantes, sob uma Ótica Pós-Keynesiana. **Revista EconomiA**. v. 12, n. 2, p.281–307, mai./ago., 2011. Disponível em: https://anpec.org.br/revista/vol12/vol12n2p281_307.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.
- DE MACEDO, F. C.; PORTO, L. R. Dinâmica Regional Brasileira: Uma Análise com Base nos Dados do PIB Municipal (2002-2015). **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 52–69, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21680/2316-5235.2017v6n2ID16703>.
- DE PAULA, T. **Instabilidade financeira no espaço: uma abordagem monetária da dinâmica econômica regional**. UFMG/Cedeplar. 2008.
- DE PAULA, T., GAMA, F.; CROCCO, M. A. Regional growth under a monetary perspective: a theoretical model with empirical application to the Brazilian case. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 43, n. 4, p. 657-673, 2020. <https://doi.org/10.1080/01603477.2020.1713005>
- DINIZ, C. C. A Dinâmica Regional Recente da Economia Brasileira e suas Perspectivas. **Texto para Discussão**, n. 375. Junho de 1995. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1741>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DOS ANJOS, F. H.; COSTA, M. J. P. Desenvolvimento Econômico Regional: Uma abordagem acerca da Teoria de Polos de Crescimento e de Aglomerações Produtivas. In: CONGRESSO EM DESENVOLVIMENTO SOCIAL, 6., 2018. Montes Claros. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2018.

DOW, S. C. **Money and the Economic Process**. Universidade da Califórnia. Editora: E.Elgar. 1993.

FIGUEIREDO, A. T. L.; CROCCO, M. A. The Role of Money in the Locational Theory: A Post-Keynesian Approach. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, [S. l.], v. 2, n. 1, 2015. Disponível em: <https://revistaaber.org.br/rberu/article/view/13>. Acesso em: 13 abr. 2023.

FILHO, F. F. Os “Keynesianos” Neoclássicos e os Pós-Keynesianos. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 340-348, 1991. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/ensaios/article/view/1452/1816> Acesso em: 13 abr. 2023.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VANABLES, A. **Economia espacial, urbanização, prosperidade econômica e desenvolvimento humano no mundo**. Tradução: Bazán Tecnologia e Linguística. São Paulo: Editora Futura, 2002.

GALVÃO, O. de A. Comércio, balanço de pagamentos e movimentos inter-regionais de renda: o caso de Pernambuco. **Ciência & Trópico**, Recife, v. 3, n. 2, p. 153-190, jul./dez., 1975. Disponível em: <https://periodicos.fundaj.gov.br/download> Acesso em: 13 abr. 2023.

GAMA, F. J. C.; BASTOS, S. Q. A.; HERMETO, A. M. Moeda e crescimento: Uma análise para os municípios brasileiros (2000 a 2010). **Nova Economia**, [S. l.], v. 26, n. 2, p.515-551, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/3624>

GAMA, F. J. C.; **Moeda e crescimento: Uma análise para os municípios brasileiros (2000 a 2010)**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora.

HADDAD, P. R. (Org.). **Economia Regional: Teoria e Métodos de Análise**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. 1989. 694p.

HAIR, J. F.; BLACK, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 6ª Ed. Pearson Education, Inc. Copyright (c). 2006.

KEYNES, J. M. **A Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda**. 2.ed. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

LIBERATO, R. de C. Revisando os Modelos e as Teorias da Análise Regional. **Caderno de Geografia**. Belo Horizonte, v. 18, n. 29, p. 127-136, 2008. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/3562> Acesso em: 13 abr. 2023.

KALDOR, N. The Case For Regional Policies. **Scottish Journal of Political Economy**. 1970. 337p. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9485.1970.tb00712.x>

MONTEIRO NETO, A. Desigualdades Regionais no Brasil: Características e Tendências Recentes. **Boletim regional, urbano e ambiental**, n. 9, jan./jun., 2014. Rio de Janeiro: IPEA. http://repositorio.ipea.br/bitstream/11058/5582/1/BRU_n09_desigualdades.pdf.

RODRIGUEZ-FUENTES, C. J.; DOW, S. C. EMU and the Regional Impact of Monetary Policy. **Regional Studies**, v. 37, n. 9, p. 967-980, 2003. <https://doi.org/10.1080/0034340032000143959>

ROMERO, J. P.; ÁVILA, J. L. T. Sistema Financeiro e Desenvolvimento Regional: Um Estudo sobre o Financiamento Bancário da Atividade Industrial no Brasil. **Revista EconomiA**. Brasília, v. 11, n. 1, p. 217-263, jan./abr., 2010.

SORGATO, L. A. A.; FERREIRA, R. R. J. Desigualdade Financeira Regional: Vazamento de Depósitos no Nordeste Brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45. n. 2, p.17-31, abril./jun., 2014. <https://doi.org/10.61673/ren.2014.96>

WRAY, L. R. Introduction to an Alternative History of Money. Levy Economics Institute of Bard College. **Working Paper**, n. 717, May, 2012. ISSN 1547-366X.

PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA E EFICIÊNCIA TÉCNICA NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS

Agricultural Productivity and Technical Efficiency in the Brazilian Northeast: An Analysis of Temporary Crops

Maria Jadenice de Santana Silva

Economista. Mestre em Economia pelo Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. jadenice.santana@gmail.com

José Ricardo de Santana

Economista. Doutor em Economia de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas. Professor Adjunto do Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. jrsantana.ufs@gmail.com

Fábio Rodrigues de Moura

Economista. Doutor em Economia. Professor Adjunto do Programa Acadêmico de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE, Brasil. fabiromoura@gmail.com

Resumo: Este estudo busca analisar o comportamento da eficiência técnica sobre a produtividade agrícola das lavouras temporárias no Nordeste do Brasil, a partir da investigação dos seus principais fatores determinantes, bem como de elementos que podem reduzir a ineficiência. Utiliza-se o modelo de fronteira estocástica de produção (SFA) e, alternativamente, o teste de verossimilhança mediante a forma funcional flexível do tipo translog para responder se as variáveis explicativas influenciam a eficiência da produção. Foram utilizados dados do Censo Agropecuário 2017. Foram considerados os municípios como unidade de referência de produção, depois agregados por estados. Os achados mostram que elementos como a precipitação contribuem para reduzir a ineficiência técnica média das lavouras temporárias, além de outros que podem ser objeto mais direto de políticas, como financiamento e tecnologia, que se mostraram relevantes para aumentos de produtividade. Constatou-se que os estados mais eficientes são Maranhão, Piauí e Bahia, que abrangem a maior parte do bioma Cerrado na região. Este estudo pode orientar produtores e formuladores de políticas a respeito de suas ações, visando à melhora do desempenho agrícola e ao crescimento econômico da região.

Palavras-chave: Agricultura, Fronteira Estocástica, Nordeste do Brasil.

Abstract: This study seeks to analyze the behavior of technical efficiency on the agricultural productivity of temporary crops in Northeast Brazil, based on the investigation of its main determining factors, as well as the elements that can reduce inefficiency. The stochastic production frontier model (SFA) is used and, alternatively, the likelihood test through the flexible functional form of the translog type to answer whether the explanatory variables influence production efficiency. Data from the 2017 Agricultural Census were used. Municipalities were considered as the production reference unit, then aggregated by states. The findings show that elements such as precipitation contribute to reducing the average technical inefficiency of temporary crops, in addition to others that may be a more direct object of policies, such as financing and technology, which are relevant to increases of productivity. It was found that the most efficient states are Maranhão, Piauí and Bahia, which cover most of the Cerrado biome in the region. This study can guide producers and policy makers regarding their actions, aiming at improving agricultural performance and economic growth in the region.

Keywords: Agriculture, Stochastic Frontier, Northeast of Brazil.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido protagonista na composição do PIB brasileiro, apesar das adversidades enfrentadas. O crescimento do setor agropecuário, em 2017, foi de 14,5%; resultado dos ganhos de produtividade agrícola, que tem mantido projeções positivas (MAPA, 2021). De acordo com o Sistema de Contas Nacionais, o crescimento real acumulado no valor adicionado do setor agrícola entre 2011 e 2021 foi de 79,26% (IBGE, 2024). No Nordeste brasileiro a agricultura apresenta também um papel relevante na economia regional, com destaque nacional na produção de lavouras temporárias, como cana de açúcar, fruticultura a mandioca e grãos. Entretanto a participação da produção agrícola nordestina no total do País ainda é baixa.

No caso da produção de grãos, por exemplo, o Centro-Oeste é a principal região produtora, com 46,2% da participação nacional, mas ocorreu no Nordeste o maior crescimento, de 15%, aumentando sua participação para 8,8% da produção nacional, em 2020. O bom desempenho pode ser atribuído a melhores condições de clima, com emprego de técnicas modernas de produção (ETENE, 2020).

Assim, uma análise desagregada por municípios, abrangendo os diversos biomas da região, como o Cerrado e o Semiárido, pode revelar com maior detalhe os determinantes da eficiência técnica agrícola. Embora haja uma heterogeneidade dos biomas e uma diversidade produtiva intrarregional no Nordeste, a abordagem agregada por estados para identificar padrões gerais de eficiência agrícola e suas associações com variáveis estruturais e de políticas públicas, com possíveis orientações também para gestores dos governos estaduais.

O desempenho da agricultura no país, com ganhos de produtividade consideráveis, é influenciado por importantes políticas públicas, são exemplos o crédito rural e a garantia de preços mínimos, além da incorporação de novas práticas e equipamentos pelos produtores, com a modernização do setor. O aperfeiçoamento contínuo da qualidade e a ampliação da eficiência técnica, com a disseminação de novos conhecimentos e aparatos técnicos, geraram diversos resultados que contribuíram para o crescimento da produtividade. Como ilustração, vale mencionar que o aumento em 1% nos gastos com pesquisa desenvolvida pela Embrapa eleva em 0,2% o índice de produtividade (Gasques et al., 2010).

No caso do Nordeste, o processo de modernização da agricultura ocorreu de forma mais acentuada a partir da década de 1960, impulsionado pelo fortalecimento de sistemas de financiamento fortemente subsidiados, ou seja, com juros baixos e incentivos governamentais. Essas políticas estimularam a inserção de máquinas e insumos modernos na produção rural, com o objetivo de aumentar a eficiência técnica (Furstenau, 1987). A principal finalidade era elevar a produtividade, reduzir os custos e diversificar as atividades agropecuárias na região. No entanto, embora essas medidas tenham promovido a modernização agrícola, também acentuaram as desigualdades no meio rural, uma vez que beneficiaram, sobretudo, os médios e grandes produtores, que possuíam maior acesso ao crédito formal e capacidade de investimento. Com isso, os pequenos agricultores foram excluídos do acesso ao crédito rural oficial e, conseqüentemente, ficaram à margem desse processo. Esse modelo contribuiu para a concentração de renda no campo, ampliando as disparidades sociais no meio rural nordestino.

Em resposta aos desafios históricos enfrentados pela agricultura no Nordeste, especialmente a exclusão dos pequenos produtores do acesso ao crédito e à modernização, o Brasil tem implementado diversas iniciativas recentes para melhorar a produtividade agrícola de forma mais inclusiva e sustentável.

O Plano Safra 2024/2025, lançado com o objetivo de facilitar o acesso ao crédito e à mecanização para pequenos produtores é um dos esforços recentes. A iniciativa introduziu fundos garantidores e incentivou a aquisição de máquinas agrícolas de pequeno porte, com a finalidade de aumentar a produtividade e reduzir o êxodo rural (BRASIL, 2024).

Considerando que os pequenos produtores predominam em diversas regiões, especialmente no Nordeste, elevar sua competitividade deve estar entre os pontos principais das políticas públicas do setor, o que requer o aumento da eficiência produtiva. Identificar os fatores que afetam o desempenho das lavouras temporárias é fundamental para contribuir para melhorias na alocação de recursos, aumentar

a produtividade e elevar a qualidade de vida no meio rural.

Nessa perspectiva, estudar a eficiência técnica da agricultura no Nordeste é de fundamental importância. Tal análise pode oferecer subsídios relevantes para uma melhor alocação dos recursos produtivos na região, promovendo ganhos em eficiência e competitividade. Segundo Gasques et al. (2004), fatores como avanços tecnológicos e aumento da empregabilidade desempenham papel essencial na determinação da eficiência da agricultura dentro da economia. No entanto, apesar das vantagens viabilizadas pelo progresso técnico, ainda persistem desigualdades na distribuição de recursos financeiros e tecnológicos, especialmente em favor dos setores voltados ao comércio exterior.

Considerando isso, levanta-se a hipótese de que o aumento da eficiência técnica das lavouras temporárias pode impulsionar o desempenho da agricultura no Nordeste, gerando ganhos de produtividade e desenvolvimento agrícola da região. Esse é o tema de interesse do estudo. O objetivo é analisar o desempenho da eficiência técnica agrícola nordestina nas lavouras temporárias, visando identificar os seus principais fatores determinantes, bem como os elementos que podem reduzir a ineficiência.

O trabalho está organizado em cinco seções incluindo a introdução. A segunda apresenta uma visão geral do tema abordado, oferecendo uma introdução ao contexto da produtividade agrícola e eficiência técnica. A terceira seção descreve a metodologia adotada para estimar a eficiência técnica na agricultura, detalhando as técnicas, modelos e métodos utilizados. A quarta seção reúne os resultados alcançados, abordando os principais fatores determinantes da eficiência e os elementos que podem reduzir a ineficiência, além de apresentar resultados da eficiência em termos espaciais. Por fim, na quinta seção, são apresentadas as considerações finais.

2 DISCUSSÃO SOBRE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA TÉCNICA NO NORDESTE

Nesta seção abordam-se elementos relacionados à produtividade da agricultura no Nordeste, a partir de estudos empíricos relacionados ao tema da eficiência. Apesar da disponibilidade de tecnologias modernas, parte considerável da região é formada por pequenos produtores, em geral vinculados à agricultura de subsistência, cuja produtividade é limitada por fatores estruturais como a ausência de políticas eficazes de comercialização, assistência técnica, logística e inclusão digital (Araújo; Araujo, 2016). É importante considerar, entretanto, que a região Nordeste não é homogênea do ponto de vista produtivo, há contrastes significativos entre áreas inseridas no bioma Semiárido, onde predomina a Caatinga, e regiões como o Cerrado, abrangendo os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA) marcadas por estabelecimentos maiores, com uso intensivo de tecnologia e inserção em cadeias de valor agroindustriais. A produtividade agrícola desempenha papel fundamental no tocante à propagação do crescimento econômico, na geração de bem-estar, na distribuição de renda e redução da pobreza. Ao introduzir inovações nos sistemas de produção, ocorrem mudanças que são capazes de induzir o aumento da produtividade na agricultura, possibilitando seu maior e melhor desempenho diante das adversidades, tais efeitos, contudo, variam conforme o contexto ecológico e socioeconômico das regiões (Souza et al., 2020).

Nesse contexto, é de grande importância explorar os fatores e mecanismos influenciadores da eficiência técnica na agricultura, objetivando melhorar o desempenho do setor. O progresso tecnológico promovido por altos índices de investimentos, por exemplo, pode promover a eficiência técnica no campo por meio dos programas de incentivo ao transporte, à mecanização dos fatores de produção, à assistência técnica, além do nível de escolaridade que aperfeiçoa o capital humano, entre outros, gerando produtores mais hábeis na empregabilidade e manejo de novas tecnologias agrícolas (Freitas, 2014).

As disparidades no processo de desenvolvimento entre as regiões brasileiras despertam atenção, sobretudo ao atraso em que ainda se encontra a região Nordeste. No entanto essa heterogeneidade não se dá apenas entre as regiões, pois o Nordeste apresenta contrastes significativos entre sub-regiões agrícolas, biomas e tipos de estabelecimento produtivo. Áreas como o Cerrado nordestino (MATOPIBA) possuem maior capitalização e acesso a crédito, enquanto o Semiárido enfrenta limitações estruturais históricas. A identificação de variáveis que explicam as diferenças de eficiência torna-se essencial à for-

mulação de alternativas mais efetivas. Dessa maneira, autores buscaram explicar as possibilidades de aumento da produtividade por meio da análise de eficiência, uma vez que o aumento da produtividade está diretamente associado à alocação dos fatores de produção.

Santos (2002) procurou analisar o setor agropecuário do Nordeste, utilizando dados procedentes do Censo Agropecuário 1995/1996 e do Censo Demográfico 2000. Por meio das medidas de eficiência técnica e de escala, buscou identificar os condicionantes das diferenças de eficiência entre as áreas em estudo. O autor emprega a Análise Envoltória de Dados (DEA) para discriminar as áreas em eficientes e ineficientes e, com isso, foi constatado que a inserção de insumos tecnológicos além de técnicas de manejo do solo contribui para melhores níveis de produção e produtividade agrícola.

Luna et al. (2021) investigaram a produtividade agropecuária de 115 estabelecimentos do Ceará, visando identificar como o aumento dessa produtividade está diretamente associado à alocação dos fatores de produção. Para isso, os autores utilizaram dados secundários e compilados do Censo Agropecuário 2017 e, como instrumento de análise, adotaram o modelo de fronteira de produção estocástica em sua forma funcional Cobb-Douglas, admitindo ineficiência técnica. Com base nos resultados, os autores concluíram que os municípios cearenses apresentam baixa eficiência técnica e forte heterogeneidade tecnológica.

Concomitantemente, Souza et al. (2020), por meio da análise envoltória de dados, concluíram que houve um aumento na eficiência do uso dos fatores de produção agrícola das mesorregiões cearenses de 2008 a 2012. Utilizando o Índice de Malmquist, verificou-se que os maiores ganhos de eficiência técnica e tecnológica ocorreram nos anos de 2010 e 2011, enquanto que as maiores perdas dessas variações ocorreram em 2009. Contudo, como a análise considera agregações por mesorregiões, as conclusões podem mascarar diferenças relevantes entre zonas produtivas inseridas em distintos contextos ecológicos e sociais, como as variações entre municípios do semiárido e do litoral cearense.

Mariano e Pinheiro (2009) buscaram identificar as fontes da ineficiência técnica da agricultura familiar no Projeto de Irrigação do Baixo Açu - RN. Para isso, usaram os modelos de análise envoltória de dados (DEA-C, DEA-V), e o modelo Free Disposal Hull (FDH). Chegaram à conclusão que a eficiência dos agricultores é baixa, com a suposição de que, com retornos constantes de escala, apenas 6,7% foram eficientes; 24% com retornos variáveis de escala; e 54,7% com livre descarte de recursos. Esse estudo é relevante por focar numa experiência localizada e irrigada: um tipo de arranjo agrícola que contrasta fortemente com outros modelos produtivos dominantes no Nordeste, como a agricultura de sequeiro no Semiárido.

Silva et al. (2019) analisam as diferenças tecnológicas da produção agropecuária entre os municípios situados no semiárido e no não semiárido do Nordeste brasileiro. O modelo adotado foi o de meta-fronteira tecnológica, proposta por Battese et al. (2004) e O'Donnell et al. (2008). Os autores concluíram que, quando comparadas as duas regiões, o não semiárido possui a maior eficiência técnica média com referência à metafronteira. Os resultados baseiam-se nos censos agropecuários do IBGE de 1975 a 2006. Esse trabalho representa um avanço metodológico ao considerar fronteiras tecnológicas distintas entre grupos de produtores, captando a heterogeneidade regional, abordagem que contorna uma das principais limitações dos estudos baseados em fronteiras únicas.

Araújo e Mancal (2015) analisaram o crescimento da agricultura na Região Nordeste do Brasil, no período de 1970 a 2006, utilizando um modelo de fronteira estocástica para decompor a produtividade total dos fatores (PTF) por estado. Os autores adotaram o índice de produtividade total dos fatores (PTF) de Malmquist, distinguindo variações de eficiência técnica e de progresso tecnológico. As conclusões indicam que nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Alagoas, os ganhos se deram mais por avanços tecnológicos, ao passo que, no Piauí, a eficiência técnica foi mais relevante. De modo geral, a região Nordeste obteve ganhos de produtividade total dos fatores no período.

Estudos que avaliam a eficiência técnica da agricultura brasileira frequentemente adotam os estados como unidade de análise para capturar as heterogeneidades regionais. Por exemplo, Gazzola et al. (2009) avaliou a eficiência técnica dos 27 estados brasileiros nos anos de 1995/96 e 2006, utilizando o

modelo de fronteira estocástica, a partir de dados dos censos agropecuários e informações de custeio e capital obtidas no Banco Central. Os resultados mostraram variações significativas entre os estados, com o Distrito Federal apresentando a maior eficiência técnica em 2006, enquanto o Piauí teve o desempenho mais baixo. Essa abordagem permite identificar as especificidades de cada estado, facilitando a formulação de políticas públicas mais direcionadas

Gomes et al. (2009) investigaram as mudanças ocorridas na agropecuária do Nordeste brasileiro, identificando as fontes de alterações na produtividade total dos fatores. Utilizam dados de 187 microrregiões nordestinas, de 1996 e 2006. As mudanças na produtividade total dos fatores foram mensuradas pelo índice de Malmquist, o qual pôde ser decomposto em mudanças na eficiência técnica e tecnológica. Os autores verificaram que 52% das microrregiões nordestinas apresentaram ganhos na produtividade dos fatores. Nas regiões onde ocorreu redução na produtividade, houve perda considerável de eficiência, mesmo diante de avanços tecnológicos. Apesar da desagregação em microrregiões representar um avanço em relação a estudos estaduais ou regionais, a ausência de uma tipologia produtiva ou de uma segmentação por bioma limita a capacidade explicativa do modelo quanto aos fatores estruturais das desigualdades observadas, isso evidencia que mesmo estudos mais desagregados têm limitações epistemológicas relevantes.

Em suma, os trabalhos revisados avaliam empiricamente os impactos do uso de tecnologias e recursos técnicos sobre a produção no Nordeste, com foco nos ganhos de produtividade via eficiência técnica. Ainda assim, observa-se que muitos estudos se baseiam em modelos que não captam plenamente a heterogeneidade socioeconômica da região. No presente trabalho, o uso das observações a partir dos municípios busca captar as particularidades espaciais que podem contribuir para influenciar a eficiência, além dos fatores explicitamente expressos no modelo de estimação.

3 METODOLOGIA

Nesta seção são expostos o método paramétrico embasado pela fronteira estocástica de produção (SFA) e os elementos utilizados para a montagem da base de dados da pesquisa.

3.1 Mensuração de Eficiência e Fronteira Estocástica de Produção

O processo produtivo pode ser representado em termos de uma função de produção, em que cada nível de produto está associado a diferentes combinações de insumos. A fronteira de produção indica a máxima quantidade de produto que pode ser obtida a partir de uma dada quantidade de insumos a partir das tecnologias disponíveis (Zanini, 2004). Desse modo, a função de produção representa o conjunto de combinações de produtos para as quais a economia atinge a eficiência.

Um produtor possui eficiência técnica (ET) quando consegue alcançar o produto ótimo, dada uma certa quantidade de insumos. Para se obter eficiência econômica, o produtor deve ser tecnicamente eficiente e empregar insumos menos onerosos, isto é, ter eficiência alocativa (EA). Quando o produto ótimo é definido em termos da fronteira de custo, sujeito às restrições de quantidades e de preços, a eficiência em questão é a eficiência alocativa (EA) (Pinto, 2013).

As fronteiras são referências que possibilitam classificar os produtores comparando seus desempenhos, almejando a eficiência econômica (Kumbhakar; Lovell, 2000). Para se mensurar a eficiência por meio das fronteiras de produção, há duas abordagens consolidadas na literatura: a não paramétrica, representada pela Análise Envoltória de Dados (DEA), e a paramétrica, que é a análise de fronteira estocástica (SFA). No caso da DEA, que é um método de programação linear não paramétrico, são ignoradas as perturbações aleatórias do processo produtivo. Ou seja, está sujeito a incertezas nos dados devido a erros de medição ou previsão, gerando resultados potencialmente não confiáveis (Coelli et al., 1998). Ademais, a DEA não estima o impacto da perturbação aleatória nas atividades de produção e apresenta vies de estimativa na medição da eficiência técnica (Yin; Wu, 2021).

No modelo de fronteira estocástica (SFA), consideram-se os impactos de perturbações aleatórias nas atividades de produção, isto é, o método admite eventos aleatórios e indeterminados (Biage, 2012). Esse

modelo reconhece que desvios em relação à fronteira de produção podem ocorrer tanto por ineficiência técnica quanto por fatores aleatórios, como condições climáticas adversas ou erros de medição.

O modelo determinístico de fronteira de produção é representado pela equação

$$y_i = f(x_i; \beta) \exp(-u_i), i=1, \dots, I, u_i \geq 0, \quad (1)$$

em que representa a produção da i -ésima unidades tomadora de decisão (UTD), x_i é um vetor $K \times 1$ contendo as entradas ou insumos, β é um vetor de parâmetros desconhecidos que captura a tecnologia de produção e u_i é uma variável aleatória associada à ineficiência técnica orientada ao produto, que segue uma distribuição não negativa com ponto de truncamento em zero; em geral, admite-se que u_i segue uma distribuição meio-normal, normal truncada ou exponencial, e expressa quanto uma UTD está afastada da fronteira ótima de produção. A fronteira de produção expressa pela equação (1) é determinística, pois, todos os desvios de y_i em relação à fronteira $f(x_i; \beta)$ são atribuídos exclusivamente à ineficiência produtiva. Ao considerar $u_i \sim N(0, \sigma_{ui}^2)$ também um termo aleatório que representa ruído estocástico (por exemplo, eventos climáticos ou erros estatísticos), chega-se à forma mais completa do modelo SFA. Assim, todos os desvios da fronteira de eficiência são considerados sob o controle da UTD e denominados de ineficiência, ou seja, são atribuídos aos produtores tecnicamente ineficientes. Aigner et al. (1977) propuseram o modelo de fronteira de produção estocástica:

$$y_i = f(x_i; \beta) \exp(e_i), \quad (2)$$

$$e_i = v_i - u_i,$$

em que $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$ é o termo de erro simétrico e $u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ é o termo não negativo de ineficiência técnica. A função de fronteira estocástica (2) incorpora, portanto, dois componentes: um erro aleatório simétrico, que captura choques externos, e um termo de ineficiência, que reflete o desvio sistemático da UTD em relação à fronteira ótima de produção. Juntos, esses dois termos compõem o erro composto. Pelo fato de v_i e u_i serem geralmente admitidas como variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), a ineficiência média presente na distribuição é refletida na assimetria de e_i . Wang (2002) propôs alternativamente modelar a média e a variância do termo de ineficiência técnica a partir de um conjunto de regressores exógenos:

$$u_i \sim N^+(\mu_p, \sigma_{ui}^2), \mu_i = z_i' \delta, \sigma_{ui}^2 = \exp(z_i' \gamma) \quad (3)$$

em que z_i é um vetor de covariáveis relacionadas à ineficiência que explicam a média de u_i , δ é um vetor de coeficientes que captura os efeitos de ineficiência e γ identifica os efeitos sobre a incerteza do processo produtivo sujeito à ineficiência. Ao parametrizar tanto a média como a variância de u_i utilizando-se do mesmo vetor de variáveis exógenas, Wang (2002) demonstra que é possível identificar efeitos não monotônicos dos regressores exógenos sobre a ineficiência. Isso permite estimar, por exemplo, eventuais efeitos decrescentes das variáveis selecionadas sobre a ineficiência, ou o intervalo em que o efeito sobre a redução da ineficiência atinge seu ponto ótimo (e.g., tamanho ótimo da propriedade, nível ótimo de financiamento). Admitindo-se que $f(x_i; \beta)$ segue uma especificação translog:

$$\ln(y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(x_{ji}) + 1/2 \sum_{(j=1)}^k \sum_{(h=1)}^k \beta_{jh} \ln(x_{ji}) \ln(x_{hi}) + v_i - u_i \quad (4)$$

Nessa função, o desvio entre o logaritmo do nível de produção y_i e a parte determinística da fronteira de produção é dado pela combinação de dois componentes v_i (ruído) e u_i (ineficiência). A especificação como função de produção translog permite modelar estruturas de produção mais complexas em relação a Cobb-Douglas e possibilita empregar múltiplos produtos sem violar as propriedades de convexidade. Além disso, a funções translog é considerada flexível, por não impor qualquer restrição aos valores de substituição nem pressupor homogeneidade. Ao mesmo tempo, apesar de permitir maior flexibilidade, pode haver problemas de multicolinearidade quando vários regressores são incluídos no modelo. Os parâmetros do modelo (4) podem ser estimados por máxima verossimilhança (ML), e em geral utiliza-se como critério de decisão entre a forma funcional translog e a Cobb-Douglas o teste de razão de verossimilhança (teste LR). Lovell (1993) considera que o grau de eficiência técnica de um produtor é dado pela razão entre o nível de produto observado e o produto correspondente na fronteira estocástica

$$y_i = f(x_i; \beta)$$

$$e_i = v_i$$

de produção. Admitindo-se linearidade no logaritmo de y_i , a função de máxima produção esperada para o nível de insumos x_i situado sobre a fronteira é dado por:

$$\hat{y}_i = \exp(x_i \beta). \quad (5)$$

A produção (não observada) para a observação i , caso a UTD opere em eficiência técnica, ou seja, na fronteira, é dada por:

$$\hat{y}_i^* = \exp(x_i \beta + v_i). \quad (6)$$

O choque (ou ruído), por sua vez, é dado pela diferença entre o logaritmo do produto não observado (6) e o logaritmo da máxima produção esperada (5). A presença de ruídos representa a omissão de variáveis relevantes do vetor y , bem como erros de medição e erros de aproximação associados à escolha da forma funcional. Para estimar a eficiência técnica de cada UTD (ET_i), calcula-se a razão entre a produção observada (y_i) e o produto potencial de fronteira (y_i^*), utilizando-se a expectativa de u_i condicionada ao erro composto e_i (Kumbhakar; Lovell, 2000). Um estimador bastante utilizado para o score de ineficiência ET_i é o proposto por Battese e Coelli (1988):

$$ET_i = \frac{y_i}{\hat{y}_i^*} = \frac{\exp(x_i \beta + v_i) \mathbb{E}[\exp(-u_i) | e_i]}{\exp(x_i \beta + v_i)} = \mathbb{E}[\exp(-u_i) | e_i] \quad (7)$$

Na equação (7), tem-se que $0 \leq ET_i \leq 1$. Quando o produtor consegue aumentar sua produção empregando a mesma quantidade de insumos, o valor de produção que é perdido devido à ineficiência técnica tende a zero, o que significa que a UTD é tecnicamente eficiente e ET_i tende a 1. Por outro lado, um valor próximo de 0 implica estar próximo da máxima ineficiência. Em geral, para a UTD ser considerada como tecnicamente eficiente, a produção deve estar na fronteira de produção estocástica. Sendo assim, o produto não observado tende a ser distribuído uniformemente acima e abaixo da porção determinística da fronteira, e o produto observado tende a situar-se abaixo da parte determinística da fronteira. O produto observado só pode estar acima da parte determinística da fronteira quando o efeito do ruído é positivo e maior que o efeito da ineficiência (Kumbhakar, 2015).

3.2 Especificação do modelo

O modelo proposto considera uma função translog para estimar a eficiência da produção de culturas temporárias nos municípios do Nordeste tratados como Unidades Tomadoras de Decisão (UTDs), condicionada a um conjunto de fatores que afetam a ineficiência técnica. Essa abordagem permite acomodar retornos de escala variáveis, elasticidades cruzadas entre insumos e maior flexibilidade na estrutura produtiva em relação a funções como a Cobb-Douglas. Propõe-se a seguinte especificação translog:

$$\ln(Prod_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln Trabalho_i + \beta_2 \ln Capital_i + \beta_3 \ln Terra_i + \beta_4 \ln Outros_i + \beta_5 \ln^2 Trabalho_i + \beta_6 \ln^2 Capital_i + \beta_7 \ln^2 Terra_i + \beta_8 \ln^2 Outros_i + \beta_9 \ln Trabalho_i \times \ln Capital_i + \beta_{10} \ln Trabalho_i \times \ln Terra_i + \beta_{11} \ln Trabalho_i \times \ln Outros_i + \beta_{12} \ln Capital_i \times \ln Terra_i + \beta_{13} \ln Capital_i \times \ln Outros_i + \beta_{14} \ln Terra_i \times \ln Outros_i + d_m + v_i - u_i$$

em que $Prod_i$ é a produção de lavouras temporárias no município, $Terra_i$, $Capital_i$ e $Trabalho_i$ são os insumos usuais de produção, d_m representa insumos adicionais relevantes para o processo produtivo, como insumos químicos, mecanização ou energia; os termos d_m são dummies que controlam efeitos fixos de microrregião, permitindo captar heterogeneidades estruturais entre agrupamentos de municípios, como diferenças institucionais, de infraestrutura ou agroclimáticas. A escolha pela microrregião, e não por agrupamentos maiores como estados ou biomas, justifica-se pela maior aderência às dinâmicas locais, às cadeias de produção regionalizadas e à variabilidade subnacional observada na agricultura nordestina. Alternativamente, futuras extensões podem explorar agregações por bioma predominante, conforme classificação do IBGE, como proxy para condições ambientais estruturais; u_i é o termo de ineficiência e v_i é o choque não observado, isto é, choques imprevisíveis (como erros de medição ou variações climáticas não modeladas).

Para modelar diretamente a ineficiência técnica, assume-se que o termo de ineficiência segue uma distribuição normal truncada em zero, com média e variância. O vetor é composto por covariáveis que influenciam diretamente a distribuição do termo de ineficiência. Essa modelagem heterocedástica permite captar efeitos não lineares das variáveis explicativas sobre a ineficiência técnica, inclusive situações de retornos decrescentes ou pontos ótimos. Neste estudo, admitimos que o vetor é composto por cinco fatores que afetam a ineficiência técnica de produção, representando determinantes estruturais e ambientais da eficiência municipal:

$$u_i = \delta_1 \text{ Tecnologia} + \delta_2 \text{ Treinamento} + \delta_3 \text{ Financiamento} + \delta_4 \text{ Clima} + \delta_5 \text{ Aglomeração} + \omega_i \quad (9)$$

As variáveis explicativas foram escolhidas com base na literatura sobre eficiência técnica agrícola (Coelli et al., 2005; Battese; Coelli, 1995; Bravo-Ureta et al., 2007). Essas dimensões foram pensadas de forma que representa os estabelecimentos que possuem irrigação; corresponde às propriedades que obtiveram orientação técnica, associada ao conhecimento de boas práticas agrícolas; diz respeito as UTD com acesso ao crédito agrícola; a dimensão refere-se a dados de temperatura e precipitação, dada sua influência direta sobre a produtividade agrícola; e é o número de estabelecimentos com produção de lavouras temporárias em cada município, podendo indicar efeitos de difusão tecnológica, redes de cooperação e concorrência local.

O erro aleatório w_i é definido pelo truncamento da distribuição normal, com média zero e variância σ^2 , sendo truncado no ponto $-z'\delta$, isto é, $w_i \geq -z'\delta$. A fim de captar possíveis efeitos não lineares sobre a ineficiência, a variância do termo u_i também será modelada utilizando-se os mesmos fatores selecionados. Essa suposição é consistente com u_i , sendo, por hipótese, um truncamento não negativo com distribuição $N(z'\delta, \sigma_u^2)$, em resumo, a modelagem da variância de pelos mesmos vetores permite captar se há maior dispersão da ineficiência entre municípios com características específicas, como clima irregular ou baixa densidade produtiva.

Espera-se que: i) um maior acesso à tecnologia reduza a ineficiência, ii) mais acesso a treinamento diminua a ineficiência, dado que produtores mais hábeis proporcionam melhores resultados na produção, iii) uma ampliação do financiamento reduza a ineficiência iv) condições climáticas mais favoráveis reduzam a ineficiência; e v) uma região com mais aglomeração de unidades produtivas possa facilitar a transferência de informações entre elas, ou favorecer a competição local, possivelmente reduzindo a ineficiência local, embora esse efeito possa ser ambíguo, podendo reduzir a ineficiência via externalidades positivas ou aumentá-la em contextos de concentração de recursos entre poucos produtores. A modelagem desses efeitos simultaneamente na média e na variância permite explorar tais nuances, inclusive detectar a existência de pontos de saturação ou retornos marginais decrescentes, como no caso do excesso de aglomeração.

3.3 Base de dados

Para a estimação da fronteira estocástica de produção foram utilizados dados públicos do Censo Agropecuário 2017 para os municípios nordestinos, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para a construção da variável resposta, foi utilizado a razão entre o valor da produção das culturas temporárias no município e o número de unidades produtivas de lavouras temporárias do mesmo município.¹ Com base nessa normalização, o município atua como a “fazenda representativa”, sendo nossa Unidade Tomadora de Decisão.

Para a variável Terra, foi considerado a soma da área utilizada no plantio de lavouras temporárias no município. O insumo trabalho é medido pelo agregado de mão de obra ocupada em lavouras temporárias. A variável Capital é dada pelo total de tratores, máquinas e implementos agrícolas utilizados nas lavouras temporárias do município. A variável é composta pelas despesas totais com sementes, adubos, agrotóxicos e energia elétrica. As variáveis Terra, Trabalho, Capital e Outros também foram normalizadas pelo número de unidades produtivas de lavouras temporárias de cada município.

¹ As culturas temporárias selecionadas foram: sorgo granífero, cebola, alho, tomate, batata-doce, batata-inglesa, algodão herbáceo, cana-de-açúcar, aveia branca em grão, amendoim, melancia, linho, arroz, feijão em geral, centeio em grão, melão, fumo, cevada em casca, milho, mamona, colza (canola), mandioca, fava, ervilha em grão, abóbora, moranga, jerimum, abacaxi, malva, gergelim, juta, triticale, soja, trigo em grão/preto, sementes, sorgo vassoura, rami, forrageiras, girassol, mamona e outros produtos.

Como proxy para o fator sobre ineficiência técnica foi utilizado a proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias com o uso de irrigação. O fator foi representado pela proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que obtiveram algum tipo de financiamento do seu processo produtivo, incluindo crédito rural via instituições financeiras públicas ou privadas, cooperativas de crédito, fornecedores e comerciantes, ONG, entre outros. A proxy para o fator foi a proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que receberam algum tipo de orientação técnica, seja via instituições governamentais, cooperativas, empresas privadas, ONG, Sistema S, de iniciativa própria do produtor, entre outras. Para o fator foi utilizado o logaritmo do total de unidades produtivas de lavouras temporárias no município. Para o fator , usou-se o logaritmo da média de 20 anos da precipitação total anual para cada município, bem como o logaritmo da média de 20 anos da temperatura média anual de cada município, ambas calculadas no período 1997-2016.

As proxies para os fatores Tecnologia, Financiamento, Treinamento e Aglomeração foram obtidas por meio dos dados públicos do Censo Agropecuário 2017 para os municípios nordestinos. Para a construção das variáveis climáticas, foram utilizados os dados de satélite disponibilizados pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF, 2023). O Quadro 1 apresenta as variáveis selecionadas.²

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para mensurar a eficiência

Variáveis	Descrição	Fonte
Variável resposta		
Prod	Razão entre o valor da produção das lavouras temporárias, em R\$ mil, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Insumos		
Trabalho	Razão entre o pessoal ocupado na produção de culturas temporárias e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Capital	Razão entre o número de máquinas, tratores e implementos agrícolas empregados na produção de culturas temporárias e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Terra	Razão entre a área total utilizada na produção de culturas temporárias em hectares, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Outros	Razão entre as despesas totais com outros insumos (sementes, adubos, agrotóxicos, energia elétrica), em R\$ mil, e o número de unidades de produção de lavouras temporárias.	IBGE
Fatores de Influência da Ineficiência Técnica		
Tecnologia: Irrigação	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias com o uso de irrigação.	IBGE
Treinamento: Orientação	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que receberam algum tipo de orientação técnica.	IBGE
Financiamento: Crédito	Proporção de unidades produtivas de lavouras temporárias que obtiveram algum tipo de financiamento.	IBGE
Aglomeração: Unidades	Total de unidades produtivas de lavouras temporárias.	IBGE
Clima: Precipitação	Média de 20 anos da precipitação total anual do município.	ECMWF
Clima: Temperatura	Média de 20 anos da temperatura média anual do município.	ECMWF

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente, são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis. Na segunda parte da seção, examinam-se as estimativas da fronteira estocástica de produção, identificando fatores que influenciam a eficiência técnica produtiva das lavouras temporárias nos municípios do Nordeste. Na terceira parte, analisa-se a distribuição de cada fator que influencia a ineficiência da produção das unidades produtoras nos municípios. Por fim, apresenta-se uma análise espacial da eficiência da produção no Nordeste.

² Devido à natureza pública dos dados do Censo Agropecuário, diversas observações têm seus valores inibidos (faltantes) para não identificar o informante. Nas lavouras temporárias, a variável Capital é a que apresenta a maior quantidade de dados faltantes: do total de 1793 municípios, há 589 com dados faltantes para o ano de 2017. Há 461 municípios com resultado zero para Capital. Devido à natureza logarítmica da fronteira estocástica, isso resulta numa perda potencial de 1050 Unidades Tomadoras de Decisão (58,56% dos municípios) devido à variável Capital. A fim de reduzir o viés de dados faltantes, decidiu-se por imputar aos municípios com observações inibidas da variável Capital a média do número de máquinas, tratores e implementos agrícolas empregados na produção de culturas temporárias da microrregião a qual o município pertence. Em seguida, foi calculada a razão entre esse resultado e o número de unidades de produção de lavouras temporárias do respectivo município. Após a imputação, verificou-se a presença de 554 municípios com resultado zero para a variável Capital, que são excluídos da amostra. Ademais, optou-se por não imputar os valores inibidos da variável resposta, que totalizam 87 municípios. Isso resulta em 1152 municípios nordestinos efetivamente disponíveis para a análise de eficiência técnica da produção de culturas temporárias via fronteira estocástica de produção.

4.1 Estatísticas descritivas das variáveis

A Tabela 1 traz as estatísticas descritivas das variáveis selecionadas. A análise da variável de produção de culturas temporárias, apresenta uma média de R\$ 71,7 mil reais por hectare, com uma grande assimetria, dado que a mediana da produção foi de R\$ 4,37 mil. Esses estabelecimentos ocupam em média quatro pessoas, demonstrando uma baixa utilização do fator trabalho. Em relação às máquinas, tratores e implementos agrícolas, registra-se uma baixa utilização, de menos de 0,2 unidades de capital em média. No que se refere aos fenômenos climáticos, observam-se temperaturas elevadas, com a média anual variando entre 20°C e 28°C. As chuvas se mostram escassas, com média anual de 889 mm, que configura a rigidez climática da seca, além de serem mal distribuídas entre os municípios.

Tabela 1 – Região Nordeste - Estatísticas Descritivas (Censo Agropecuário 2017)

Variáveis	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Produção (R\$ mil)	1152	71,728	4,368	403,142	0,2312	7.411
Trabalho (und)	1152	4,439	3,035	10,927	1,154	244,250
Capital (und)	1152	0,1839	0,0351	0,7474	0,0004	13,074
Terra (ha)	1152	18,297	1,991	94,054	0,2073	1.599,379
Outros (R\$ mil)	1152	28,429	1,439	178,458	0,0576	3.649,438
Tecnologia (und)	1152	0,1024	0,0458	0,1512	0	0,9907
Treinamento (und)	1152	0,0750	0,0451	0,0896	0	0,7078
Financiamento (R\$ mil)	1152	0,1058	0,0944	0,0666	0	0,4333
Precipitação (mm)	1152	899,753	821,761	287,387	411,637	1.942,109
Temperatura (°C)	1152	25,221	25,189	1,296	20,480	28,136
Aglomeracao (und)	1152	609,526	421	606,655	4	4310

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A respeito das variáveis que podem ocasionar ganhos de eficiência na matriz de produção, Tecnologia, Treinamento e Financiamento devem ser analisados. No quesito Tecnologia, em média apenas 10,2% das unidades produtivas possuem sistemas de irrigação. Em Treinamento, somente cerca de 7,5% dos estabelecimentos receberam orientação. E no quesito Financiamento, apenas cerca de 10,6% dos estabelecimentos conseguiram acesso a esses recursos.

4.2 Fatores que influenciam a eficiência técnica de produção

A Tabela 2 apresenta os resultados da estimação do modelo de fronteira de produção estocástica, em uma função translog, com coeficientes extras. O Teste LR para decisão entre translog ou Cobb-Douglas resultou em: = 68.62 (p-valor ≈ 0), rejeitando-se a função Cobb-Douglas. Já o teste da razão Verossimilhança rejeita a hipótese nula = 0 de aninhamento das funções, ou seja, os coeficientes extras da função translog são conjuntamente significativos e trazem informações adicionais ao modelo.

Na estimação da translog, tomando como base as elasticidades da função, os resultados se mostram significativos para o fator Terra e para o fator Capital, embora este apareça como menos relevante que a variável que representa outros fatores, relacionados às despesas totais com insumos. Isso possivelmente se deve ao fato de que há uma utilização da capital muito pequena na média das unidades produtivas na região. Já em relação à elasticidade do fator Trabalho, os resultados apontam uma não significância do estimador. Uma das principais causas desse resultado está associada à baixa incidência do Capital relativamente ao Trabalho na distribuição dos municípios nordestinos. Apesar de o coeficiente cruzado entre Capital e Trabalho ser positivo e significativo, o baixo nível médio no uso de capital e na razão capital-trabalho no Nordeste³ efetivamente reduz a elasticidade do trabalho, ampliando a incerteza do seu efeito na produção. Os demais fatores de produção são significativos, com sinal conforme o esperado.

³ Com exceção em regiões com produção de culturas de uso intenso de maquinário agrícola, como na região do MATOPIBA, por exemplo, em que o capital médio por unidade de produção é de 0.54 e a razão média capital-trabalho é de 0.11, enquanto no resto do Nordeste o capital médio é de 0.12 e razão média capital-trabalho é de 0.024. Em termos de culturas específicas intensivas em capital, destaca-se a soja, que tem uma presença importante na região Nordeste, com saídas da Bahia e do Piauí. Trata-se de uma cultura considerada intensiva, devido ao uso de maquinário agrícola moderno, sementes geneticamente modificadas e fertilizantes, além de técnicas avançadas de plantio e manejo.

Tabela 2 - Estimativas da Fronteira Estocástica

Variáveis	Coefficientes Translog	Elasticidades Translog	Coefficientes Cobb-Douglas
Trabalho	.3879** (.189)	.0946 (.085)	.1125*** (.038)
Capital	.0566 (.056)	.0703*** (.021)	.0511*** (.016)
Terra	.7079*** (.105)	.5711*** (.040)	.6894*** (.027)
Outros	.2392*** (.094)	.2969*** (.027)	.2613*** (.022)
Trabalho X Trabalho	.0631 (.053)		
Capital X Capital	.0084 (.005)		
Terra X Terra	.1260*** (.021)		
Outros X Outros	-.0053 (.015)		
Trabalho X Capital	.0677** (.033)		
Trabalho X Terra	-.2517*** (.051)		
Trabalho X Outros	.1199** (.049)		
Capital X Terra	-.0378* (.020)		
Capital X Outros	-.0031 (.016)		
Terra X Outros	-.0917*** (.029)		
Constante	1.3652 (.273)		1.9245 (.215)
log-verossimilhança	-517.1525		-551.4622
$E(\sigma_u)$.2409***		
σ_v	.3290***		

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Nota: Erros-padrão robustos em parênteses. ***Significativo a 1%; **Significativo a 5%; *Significativo a 10%.

A soma das elasticidades estimadas pela translog resulta em 1.033 (erro-padrão de 0.092), significativa a 1%. Ademais, não se rejeita a hipótese nula de retornos constantes de escala (p-valor de 0.722). Definida a função de estimação translog, seguiu-se a modelagem de elementos que afetam a ineficiência. Ainda a partir dos resultados da Tabela 2, observa-se que o desvio-padrão médio estimado do termo de ineficiência (0.2409), estatisticamente diferente de zero, evidencia a existência de uma distribuição de ineficiência ao longo dos municípios. A razão entre o desvio-padrão médio estimado do termo de ineficiência (σ_u) e o desvio-padrão estimado do erro idiossincrático (σ_v) é elevada ($0.2409/0.3290 = 0.7322$). Isso também indica a existência de uma influência não desprezível da ineficiência sobre o processo produtivo de lavouras temporárias no Nordeste.

A análise dos elementos que afetam a ineficiência, como deficiências na infraestrutura de irrigação (Tecnologia), falta de orientação técnica (Treinamento), baixo acesso a recursos financeiros, e cooperação limitada entre os estabelecimentos, permite identificar áreas de melhoria e fornecer indicações para o desenvolvimento de políticas e estratégias que visam aumentar a eficiência na agricultura na região. A Tabela 3 apresenta os elementos que, por hipótese, afetam a ineficiência técnica, com os respectivos coeficientes estimados da média e da variância destes.

Tabela 3 – Estimativas para os fatores de influência da ineficiência técnica

Variáveis	Média	Variância
Tecnologia	-2.7884*** (.912)	.2696 (1.152)
Treinamento	-.5816 (.486)	-.6229 (2.115)
Financiamento	-.8055* (.432)	1.8689 (1.897)
Log Precipitação	-1.4765*** (.198)	-1.7787** (.894)
Log Temperatura	1.3415 (1.144)	-6.7249** (3.466)
Log Aglomeração	.0672** (.033)	-.5457*** (.156)
Constante	5.8512 (4.075)	33.7186*** (12.090)

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Observa-se que a irrigação, proxy para a Tecnologia, contribui de forma significativa para reduzir ineficiência média. O acesso a Financiamento também se mostra estatisticamente significativo, assim como a variável Precipitação, ambas coerentes com a literatura. Já em relação à Aglomeração de unidades produtivas, constata-se um efeito ambíguo. Por um lado, há um leve incremento da ineficiência média nos municípios com maior número de estabelecimentos agrícolas, o que pode estar associado a restrições estruturais não captadas diretamente no modelo. Por outro lado, há evidências de que a elevação do número médio de propriedades agrícolas contribui para a reduzir a dispersão da ineficiência técnica, aproximando os produtores em termos de eficiência de produção. Esse achado pode refletir mecanismos de transbordamento de informação (spillover) e aprendizado social, frequentemente observados em contextos com alta densidade de produtores agrícolas (Foster; Rosenzweig, 1995). Nessas situações, práticas produtivas bem-sucedidas tendem a ser difundidas informalmente por observação ou interação entre vizinhos e redes locais. Além disso, uma maior densidade de unidades pode intensificar a competição local, levando à padronização de práticas produtivas e à eliminação de comportamentos tecnicamente ineficientes.

Assim, ainda que a ineficiência média permaneça relativamente estável ou até ligeiramente elevada, a redução da dispersão indica uma possível convergência técnica entre as UTDs, sugerindo que os produtores menos eficientes tendem a melhorar seu desempenho em função do ambiente mais dinâmico e interativo. Também é plausível que a maior presença de propriedades favoreça a provisão de infraestrutura compartilhada e serviços de apoio à produção, como assistência técnica, extensão rural e canais de comercialização, os quais podem reduzir desigualdades no acesso a fatores produtivos e mitigar os efeitos da ineficiência extrema.

Um ponto relevante é que não há evidência de efeito significativo do Treinamento sobre a média ou variância da ineficiência técnica. Nos últimos anos, a assistência técnica na agricultura brasileira apresentou redução na cobertura entre o período compreendido pela realização dos censos agropecuários de 2006 e 2017. Desse modo, o efeito captado pode ser decorrente de redução geral da assistência técnica, demonstrando pouca diferenciação estatística entre os municípios. De acordo com Pereira e Castro (2021), 80% dos estabelecimentos agropecuários não contam com qualquer tipo de atendimento, reforçando a necessidade de reestruturar o serviço de assistência técnica.

4.3 Análise da ineficiência na distribuição da produção: efeitos não-monotônicos

Estimados os fatores de influência da ineficiência, buscou-se testar a existência de efeitos não monotônicos sobre produção. Assim, faz-se necessário estimar o efeito marginal médio ao longo da distribuição empírica dos fatores que, por hipótese, afetam diretamente a ineficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (UTD)⁴. Inicialmente, para cada coeficiente, foi analisado o comportamento da média e da variância, supostas não constantes, observando os quantis da distribuição. Em seguida, observou-se o comportamento da distribuição de cada fator de influência.

A análise inicial, a partir da Tabela 4, apresenta os quantis dos fatores selecionados, que foram utilizados para calcular o efeito marginal médio sobre a ineficiência, ao longo da distribuição de cada covariável. Destaca-se a baixa incidência de Tecnologia, Treinamento e Financiamento na distribuição das UTD.

Tabela 4 – Quantis dos fatores de influência da ineficiência técnica

Variáveis	q10	q20	q30	q40	q50	q60	q70	q80	q90
Tecnologia	.0039	.0111	.0198	.0298	.0458	.0657	.0991	.1508	.2767
Treinamento	.0072	.0155	.0241	.0324	.0451	.0607	.0802	.1111	.1785
Financiamento	.0307	.0492	.0648	.0806	.0944	.1116	.1288	.1538	.1969
Precipitação	605.81	674.91	727.53	778.32	821.76	887.12	971.53	1080.15	1359.69
Temperatura	23.46	24.12	24.58	24.86	25.18	25.65	26.08	26.44	26.87
Aglomeración	93	163	239	321	421	512	668	979	1414

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Por exemplo, em 60% dos municípios a irrigação é utilizada em menos de 7% das unidades produtoras (q60, tecnologia). Resultado semelhante é encontrado para a orientação técnica (q60, treinamento). Considerando ainda 60% dos municípios, observa-se que somente cerca de 12% das unidades produtoras obtiveram algum tipo de crédito (q60, financiamento).

A Tabela 5 apresenta a estimativa do efeito marginal médio para cada intervalo interquantil definido com base nos quantis da Tabela 4. Observa-se a identificação de efeitos significativos e não monotônicos (decrecentes) para as variáveis tecnologia, financiamento e precipitação. Os demais fatores apresentam coeficientes não significativos.

No caso dos fatores Financiamento (crédito) e Precipitação, há não apenas efeitos decrecentes ao longo da distribuição, mas também um esgotamento do efeito na cauda direita, representada pelo intervalo [q90, max], com coeficiente não significativo. Não apenas há uma forte redução na magnitude do efeito no quantil mais elevado desses fatores, como a incerteza é bastante elevada. Em municípios em que as propriedades são mais atendidas por Financiamento, por exemplo, incrementos marginais no acesso ao crédito não geram, em média, retornos em termos de redução da ineficiência.

Para uma melhor compreensão da magnitude dos efeitos estimados, a Figura 1 mostra a distribuição da ineficiência técnica, cuja média estimada é de aproximadamente 0.40 pontos. Logo, para os municípios que se encontram no intervalo [q40, q50] de tecnologia (de acordo com a Tabela 4, em que o total de propriedades atendidas com irrigação está entre 3,24% e 4,51%), por exemplo, estima-se que um incremento de 1 ponto percentual no total de unidades atendidas com irrigação gera uma redução de $-2.0034 \times 0.01 = -0.02$ pontos na ineficiência média.

⁴ Como explica Wang (2002), o efeito marginal das covariáveis que afetam a ineficiência é calculado para cada Unidade Tomadora de Decisão, pois depende da variância da ineficiência (, suposta não constante ao longo das UTD, e da média do termo de ineficiência também suposta não constante. Além disso, como tanto a variância quanto a média do termo de ineficiência foram parametrizados no presente estudo, o efeito marginal médio de cada covariável depende de ambos os coeficientes apresentados na Tabela 3, o que permite identificar efeitos não lineares ao longo da distribuição das UTD.

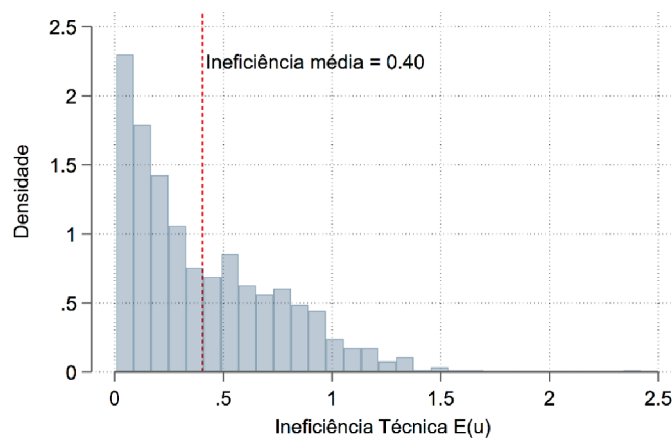
Tabela 5 – Efeito marginal médio sobre a ineficiência técnica

Intervalo Interquantil	Tecnologia	Treinamento	Crédito	Log Precipitação	Log Temperatura	Log Aglomeração
[min, q10]	-1.8895** (.742)	-.3902 (.641)	-.3192** (.149)	-1.3245** (.480)	-.0848 (.870)	-.0463 (.030)
[q10, q20]	-1.9300*** (.721)	-.3797 (.665)	-.4086** (.170)	-1.2768*** (.481)	.2379 (.788)	-.0198 (.024)
[q20, q30]	-1.9748*** (.699)	-.3750 (.647)	-.4258** (.182)	-1.2442** (.494)	.7132 (.913)	-.0089 (.020)
[q30, q40]	-2.0111*** (.682)	-.3805 (.589)	-.3680** (.168)	-1.2065** (.477)	.6577 (.890)	.0012 (.021)
[q40, q50]	-2.0034*** (.680)	-.3981 (.579)	-.4396** (.179)	-1.1641** (.474)	.4718 (.801)	.0112 (.025)
[q50, q60]	-1.8503*** (.621)	-.3945 (.569)	-.4583** (.191)	-1.0364** (.435)	.5289 (.868)	.0176 (.026)
[q60, q70]	-1.6944*** (.552)	-.3692 (.519)	-.3949** (.180)	-.8768** (.367)	.4456 (.833)	.0225 (.027)
[q70, q80]	-1.5255*** (.509)	-.3817 (.481)	-.3983** (.189)	-.7972** (.368)	.4354 (.828)	.0313 (.030)
[q80, q90]	-.9809*** (.299)	-.3863 (.442)	-.3393** (.172)	-.5375* (.304)	.5008 (.996)	.0412 (.033)
[q90, max]	-.4299** (.200)	-.3076 (.355)	-.1912 (.182)	-.1981 (.266)	.3791 (1.121)	.0512 (.036)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Notas: Em parênteses, erros-padrão gerados por bootstrap com 1.000 replicações. O efeito marginal médio é calculado ao longo do intervalo interquantil de cada covariável selecionada. ***Significativo a 1%; **Significativo a 5%; *Significativo a 10%.

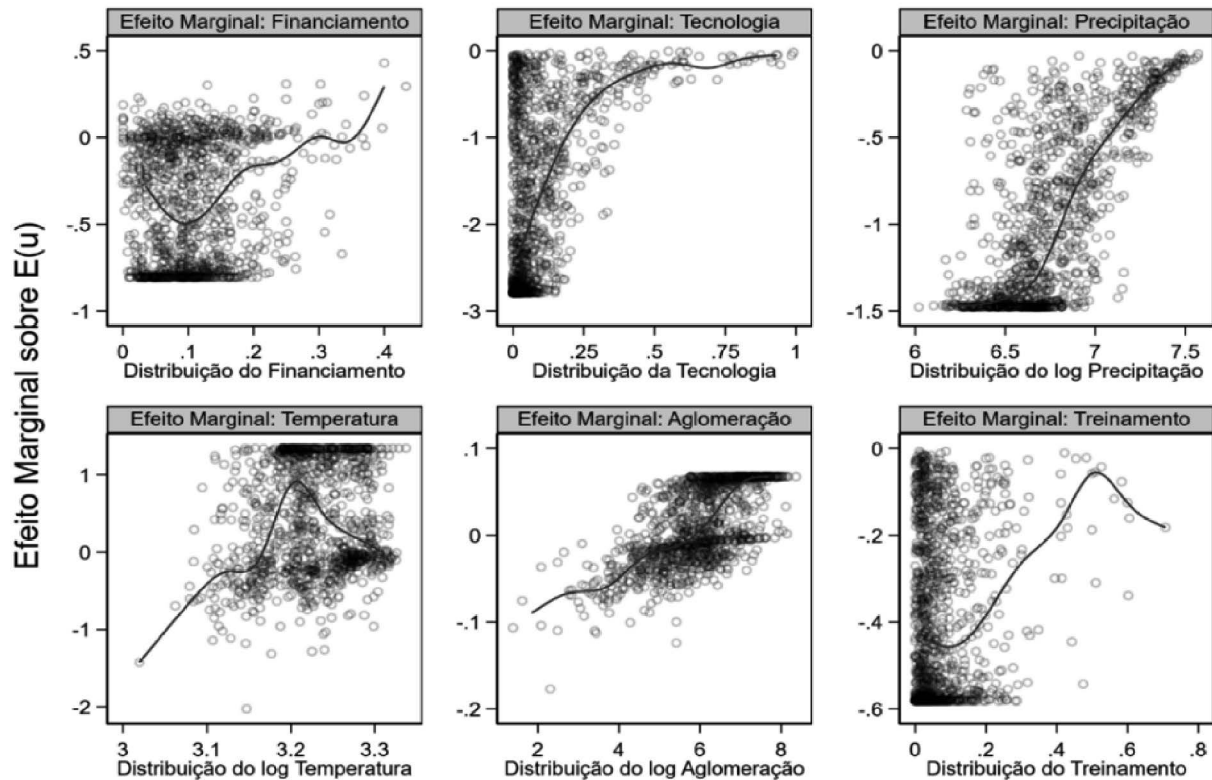
Figura 1 – Distribuição da ineficiência técnica estimada ao longo dos municípios do Nordeste



Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma segunda análise busca computar os efeitos marginais condicionais a cada UTD, complementando a estratégia de estimação do efeito marginal médio dentro dos intervalos interquantis. A Figura 2 mostra a tendência dos efeitos marginais ao longo de toda a distribuição dos municípios nordestinos produtores de lavouras temporárias. Para auxiliar na visualização da tendência, um spline cúbico também foi estimado.

Figura 2 – Efeito marginal médio sobre a ineficiência ao longo da distribuição dos fatores de influência



Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: Os círculos pretos representam os municípios nordestinos (Unidades Tomadoras de Decisão). A linha sólida representa a estimativa de um spline cúbico entre o efeito marginal (eixo vertical) e a distribuição dos fatores de influência ao longo das UTDs (eixo horizontal).

Observa-se a redução do efeito marginal da Irrigação, proxy para tecnologia, e da Precipitação ao longo da distribuição das UTDs. De todo modo, todas as estimativas pontuais se encontram abaixo do eixo nulo, indicando uma contribuição efetiva para a redução da ineficiência. Além da Tecnologia, é importante observar o comportamento de outros fatores em tese importantes para reduzir a ineficiência, como Treinamento e Financiamento. Nota-se que os efeitos marginais do Treinamento e do Financiamento sobre a ineficiência não apresentam um padrão claro na sua distribuição, com uma grande volatilidade na magnitude dos efeitos. Embora se encontrem abaixo do eixo, o que indicaria um efeito negativo sobre a ineficiência, o comportamento da distribuição desses fatores contribui para a incerteza dos efeitos marginais médios estimados para as respectivas variáveis.

4.4 Análise espacial da eficiência produtiva no Nordeste

A análise buscou ainda fazer uma aproximação espacial da eficiência nas lavouras temporárias, considerando os principais fatores relevantes. No Nordeste, em 2020, em termos da produção de grãos, a Bahia foi o principal produtor, com 42,0% de participação regional. O Maranhão teve a segunda maior participação na Região 25,8%. E o Piauí foi o terceiro maior produtor, com 24,5% da produção. Os demais estados - Alagoas, Pernambuco, Rio grande do Norte e Sergipe - representam, em conjunto, 4,8% da produção de grãos do Nordeste. O Ceará e a Paraíba apresentaram declínio na produção das culturas de grãos (ETENE, 2020). A Tabela 6 apresenta a eficiência média do Nordeste e de suas unidades federativas a partir do modelo estimado.

A eficiência média da Região Nordeste é 0.7102. Com base nos resultados estimados, existe uma perda média de aproximadamente 29% no produto devido à ineficiência técnica. Para Conceição e Araújo (2000), um nível de eficiência acima de 70% não pode ser considerado baixo, contudo, evidencia que ainda há espaço para aumentar o desempenho das lavouras por meio da promoção da eficiência.

Além de quantificar essas diferenças, o objetivo da análise espacial da eficiência técnica é fornecer uma visualização clara das disparidades regionais, de modo a subsidiar políticas públicas mais bem direcionadas pelos governos estaduais. Ao identificar os estados com maiores perdas relativas de eficiência e mapear os determinantes técnicos da produção agrícola, são apresentadas evidências empíricas que podem orientar intervenções específicas, como a ampliação da assistência técnica, o fomento à irrigação, o aprimoramento do crédito rural ou a modernização tecnológica, adaptadas às realidades produtivas de cada território.

Tabela 6 – Eficiência média dos estados

UF	UTD	Eficiência Média	Eficiência Mediana	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo
Alagoas	83	0,6523	0,7192	0.222	0,2350	0,9428
Bahia	316	0,7084	0,7481	0.174	0,2640	0,9886
Ceará	114	0,6222	0,5979	0.142	0,3611	0,9430
Maranhão	141	0,9518	0,9574	0.032	0,8360	0,9931
Paraíba	92	0,6014	0,5980	0.188	0,2020	0,9476
Pernambuco	145	0,6123	0,6046	0.220	0,2301	0,9711
Piauí	137	0,8033	0,8458	0.154	0,4057	0,9913
Rio Grande do Norte	70	0,6194	0,5903	0.207	0,0928	0,9458
Sergipe	54	0,6939	0,7106	0.155	0,3115	0,9751
Nordeste	1152	0,7102	0,7546	0,203	0,0928	0,9931
MATOPIBA	164	0,9102	0,9404	0.082	0,5523	0,9859
Nordeste sem MATOPIBA	988	0,6770	0,6903	0,198	0,0928	0,9931

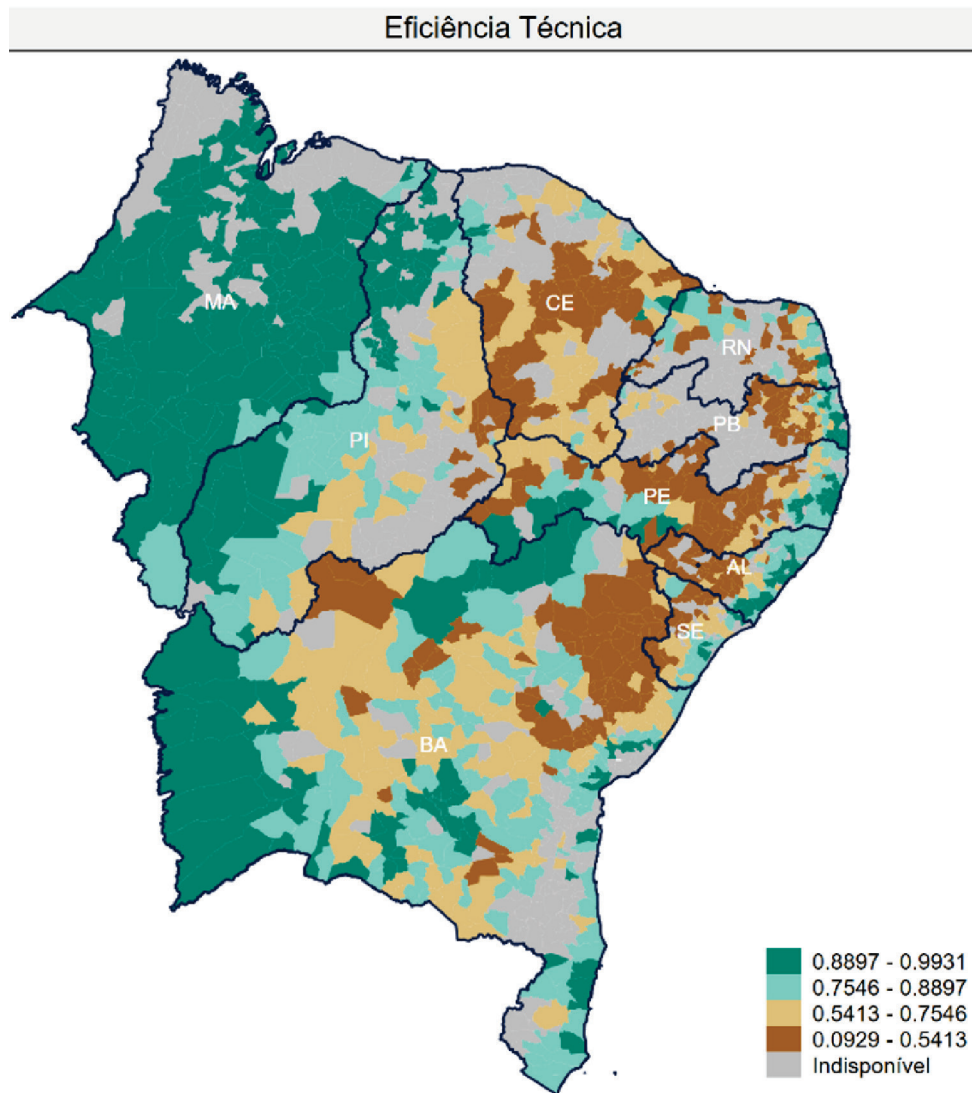
Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados evidenciam disparidades significativas na eficiência técnica das lavouras temporárias entre os estados nordestinos, com destaque positivo para Maranhão, Piauí e Bahia, e desempenho inferior nos estados da faixa litorânea e agreste, como Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A eficiência média de 0,7102 na região aponta que, embora o uso dos insumos esteja relativamente adequado, ainda há um potencial considerável de ganho de produtividade sem necessidade de ampliação dos fatores de produção.

Essas diferenças regionais sinalizam a urgência de políticas públicas mais direcionadas e territorialmente sensíveis. Estados com menor eficiência relativa devem ser priorizados em ações como expansão da assistência técnica, investimento em tecnologias adaptadas ao clima local, melhoria no acesso ao crédito rural e fomento à cooperação entre unidades produtivas. A análise espacial da eficiência técnica, portanto, não apenas descreve o cenário produtivo, mas fornece base empírica para intervenções governamentais que promovam maior equidade e dinamismo agrícola no Nordeste.

A Figura 3 traz a distribuição espacial da eficiência estimada dos municípios nordestinos para a produção de lavouras temporárias. Observa-se que as UTDs mais eficientes na produção das lavouras temporárias estão localizadas no Maranhão. As análises confirmam padrões já reconhecidos na literatura, como a concentração de eficiência técnica em regiões como o Cerrado (MATOPIBA), o polo Juazeiro-Petrolina e a Chapada Diamantina. Essa confirmação sugere que o modelo adotado é sensível a estruturas produtivas consolidadas, o que reforça sua utilidade como base para análises futuras com distintas agregações espaciais dos municípios.

Figura 3 – Distribuição espacial da eficiência técnica na produção de lavouras temporárias sobre a amostra efetiva de municípios do Nordeste



Fonte: Elaborada pelos autores.

Dentre as maiores culturas temporárias, a cana é produzida uniformemente na região, assim, supõe-se que o diferencial quanto à produtividade é a soja. Isso porque a soja é produzida tecnicamente nos estados mais eficientes e sua produção requer altos níveis tecnológicos. É considerável destacar a região do MATOPIBA, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conhecida por seu potencial agrícola. Leva-se em consideração a composição entre insumos e produto para considerar uma região tecnicamente eficiente.

A região do MATOPIBA apresenta uma eficiência média (0,9102) e mediana (0,9404) relativamente alta, em comparação com o restante do Nordeste. Isso indica que, em média, a região apresenta uma alta proporção de unidades produtivas alcançando bons resultados. Além da soja, a região do MATOPIBA é relevante na produção de outros grãos, especialmente milho e algodão. Vale enfatizar também a cultura do arroz no Maranhão, que é o maior produtor no Nordeste, e tem a maior parte das lavouras de arroz irrigadas.

Embora este estudo não tenham sido tratados explicitamente os biomas por meio de variáveis indicadoras (dummies), a evidência empírica sugere que áreas inseridas no bioma Cerrado, como a região do MATOPIBA, tendem a apresentar níveis mais elevados de eficiência, possivelmente em virtude de fatores como mecanização intensiva, escala de produção e uso de tecnologia. Da mesma forma, municípios localizados na faixa litorânea, e nos demais biomas, todos com características produtivas distintas, merecem análise específica quanto às condições estruturais que afetam o desempenho agrícola.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento da eficiência técnica sobre a produtividade agrícola das lavouras temporárias no Nordeste do Brasil. Foi utilizada a fronteira de produção estocástica, proposta por Battese e Coelli (1995), com a forma funcional flexível do tipo translog. A modelagem proposta utilizou fatores relevantes para explicar a eficiência produtiva, além de trazer a análise sobre elementos para reduzir a ineficiência na produção de lavouras temporárias na região.

Foram considerados, a partir da literatura, os fatores clássicos de uma função de produção, como Terra, Capital e Trabalho, além de insumos relevantes, agrupados no fator Outros, para determinar a eficiência. Foi analisada ainda a influência de elementos que ajudariam a reduzir a ineficiência encontrada na região. Nessa modelagem, foram considerados elementos relacionados ao clima, como Temperatura e Precipitação, importantes pelas características da região. Foram ainda considerados outros elementos, como Aglomeração das unidades produtoras. Por fim, foram considerados elementos como Treinamento, Financiamento e Tecnologia, que tinham maior nível esperado de influência sobre a produtividade.

Importa destacar que os resultados obtidos refletem não apenas os efeitos diretos dos insumos sobre a produção, mas também captam as heterogeneidades estruturais entre os municípios, as quais foram consideradas por meio da introdução de dummies para microrregiões no modelo. Essa abordagem permite controlar diferenças não observadas relacionadas a aspectos geográficos, climáticos, infraestruturais e institucionais, proporcionando uma quantificação mais precisa dos fenômenos analisados. Dessa forma, reforça-se a robustez das estimativas, uma vez que os efeitos dos insumos são estimados condicionalmente às variações estruturais presentes no espaço geográfico nordestino.

Em relação aos resultados do estudo, partindo das estimativas das elasticidades, são significativos para melhorar a eficiência o fator Terra, assim como os fatores Capital e Outros insumos. Um achado que chama atenção está associado ao fator Outros, representado por despesas com insumos (como sementes, adubo, agrotóxicos e energia elétrica) que tem efeito maior do que a presença de Capital (máquinas, tratores e implementos agrícolas) no espaço. Isso sugere que os recursos financeiros gastos com insumos e tecnologias agrícolas têm um impacto significativo na eficiência e produtividade agrícola.

Já o fator Trabalho, embora essencial para o cálculo do valor da produção agrícola, parece não contribuir para melhorar a eficiência. Isso indica a necessidade de aprimorar o capital humano na região, por meio da capacitação dos trabalhadores, de modo a incrementar o uso do conhecimento na produção.

No que concerne à modelagem da ineficiência técnica, as variáveis Temperatura e Treinamento não contribuíram para a redução da ineficiência média das lavouras. A Temperatura possivelmente não é significativa devido à reduzida diferenciação nesse quesito, nos diversos municípios da região. E o Treinamento pode não estar diretamente associado à redução da ineficiência técnica média em função da baixa utilização entre as UTD na região, devido à desmobilização dos órgãos de assistência técnica rural. Ainda assim, deve-se ressaltar que o Treinamento pode contribuir para que os agricultores otimizem os recursos e aprimorem as técnicas de manejo, levando a práticas mais eficientes nas lavouras.

Com relação à variável Aglomeração, os resultados indicam uma possível existência de efeito de transbordamento entre os estabelecimentos, mas com incerteza estatística elevada, refletida na variância. Uma possibilidade de política seria o incentivo à permanência no campo e a criação de novas unidades produtivas rurais. Isso poderia promover a formação de cooperativas agrícolas, de forma a disseminar práticas e gerar uma maior homogeneidade de eficiência. Para a redução da ineficiência, mostraram-se significativas também as variáveis de Precipitação, Financiamento e Tecnologia.

A variável Precipitação, ou seja, a quantidade e a distribuição de chuva ao longo do tempo, é um fator crítico para o desenvolvimento das culturas. Nesse sentido, a disponibilidade de água para irrigação pode ser particularmente relevante em regiões onde a precipitação é irregular. Cabe destacar que a região demanda intensamente gastos com adubo, agrotóxico, energia e água para manter uma área irrigada. A má utilização desses mesmos fatores pode também estar relacionada à baixa qualificação da mão de obra.

A variável Financiamento, representada pelo acesso ao crédito rural, viabiliza a ampliação das atividades produtivas por parte dos agricultores, possibilitando tanto o custeio da produção quanto a realização de investimentos em insumos e tecnologias agrícolas modernas e mais eficientes. Além disso, o crédito agrícola contribui para melhorar as condições de comercialização da produção, ao favorecer a implantação de estruturas adequadas de armazenagem e transporte. Políticas públicas voltadas ao financiamento do setor agrícola também podem desempenhar um papel estratégico na promoção de práticas produtivas mais sustentáveis e no uso adequado dos recursos.

No tocante à Tecnologia, podem ser incluídos nesse rol o uso de máquinas agrícolas modernas, sensores e monitoramento de culturas, sistemas de informação geográfica e outras tecnologias relacionadas, além de sistemas de irrigação eficientes. Pode-se assim otimizar o uso dos recursos, reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade e o rendimento dos produtos agrícolas. É importante considerar que a expansão da área irrigada requer investimentos em infraestrutura de irrigação, como construção de sistemas de captação e distribuição de água. Políticas de investimento nesse sentido podem ajudar a reduzir a dependência das culturas em relação à precipitação natural e garantir um suprimento adequado de água durante períodos de estiagem. Além disso, a irrigação pode proporcionar condições ideais para o cultivo de culturas de alto valor, diversificando a produção agrícola na região.

Estudos recentes demonstram que os sistemas produtivos vinculados às culturas temporárias reagem de forma significativa à expansão do crédito rural, à modernização das práticas agrícolas e à incorporação tecnológica. Essa informação reforça o potencial dessas culturas como vetor para o fortalecimento regional e redução de desigualdades históricas entre as macrorregiões brasileiras, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Tais regiões, ao receberem investimentos direcionados à agricultura temporária, tendem a ampliar o valor agregado da produção local, sem reproduzir os padrões concentradores observados nas regiões Sul e Sudeste (Cruz et al., 2024).

Em relação aos resultados entre as unidades espaciais, envolvendo estados e municípios, é possível concluir que as lavouras temporárias no Nordeste possuem eficiência técnica média (71%). Isso sugere que a maior parte dos recursos está sendo utilizada de forma eficiente e que há um bom equilíbrio entre os insumos e os resultados obtidos na produção. Entretanto, permanece a evidência de que a ineficiência técnica média da região contribui com 29% dos desvios em relação à fronteira, o que mostra uma margem considerável para melhorar a produtividade e eficiência das UTD nas lavouras temporárias.

Os resultados indicam ainda que os estados mais eficientes na produção das lavouras temporárias são Maranhão, Piauí e Bahia, respectivamente. Esses estados formam, junto com o Tocantins, a região do MATOPIBA, que é destaque na produção de grãos. A eficiência na produção das lavouras temporárias nesses estados pode ser resultado de diversos fatores, como adoção de melhores práticas de manejo, uso eficiente de insumos, acesso a crédito e tecnologias agrícolas avançadas.

Cabe destacar, nesse contexto, que esses estados concentram áreas significativas do bioma Cerrado, o qual apresenta características edafoclimáticas mais favoráveis à mecanização e à expansão da fronteira agrícola, especialmente quando comparado a outros biomas da região Nordeste, como a Caatinga e a Mata Atlântica. Ainda que a análise presente não incorpore dummies específicas por tipo de bioma, a evidência empírica sugere que tais diferenciações podem contribuir para a compreensão dos padrões de eficiência observados.

As evidências apresentadas mostram que é possível orientar políticas públicas com foco na melhoria da eficiência técnica da produção agrícola no Nordeste brasileiro. No entanto, é fundamental evitar generalizações excessivas, uma vez que a região apresenta elevada heterogeneidade socioeconômica, ambiental e produtiva. Fatores como clima, tipo de solo, nível de capitalização dos produtores, infraestrutura local e inserção em cadeias agroindustriais condicionam significativamente os níveis de eficiência observados.

Os dados indicam que os estabelecimentos agrícolas nordestinos operam, em média, com baixa intensidade de trabalho (aproximadamente quatro pessoas por unidade) e reduzido uso de máquinas e equipamentos agrícolas (menos de 0,2 unidade de capital por estabelecimento). Esse cenário sugere a existência de barreiras estruturais à modernização produtiva e à adoção de tecnologias, o que contribui para os níveis observados de ineficiência técnica.

Diante disso, recomenda-se que políticas públicas voltadas à elevação da eficiência produtiva sejam formuladas com base em diagnósticos mais refinados, que considerem as especificidades locais. Variáveis como Treinamento, Financiamento e Tecnologia, embora estatisticamente significativas para a redução da ineficiência, não devem ser tratadas de forma genérica. Sua eficácia depende de estratégias diferenciadas conforme o perfil produtivo, o estágio de desenvolvimento agrícola e as condições institucionais de cada microrregião ou bioma, eventualmente em alinhamento com as políticas estaduais para o setor.

Além disso, torna-se essencial considerar a diversidade ambiental da região, especialmente no que se refere à delimitação de biomas e à presença de territórios produtivos específicos como o MATOPIBA e a faixa litorânea, por exemplo. A elaboração de políticas mais eficazes passa, necessariamente, pela incorporação de tais diferenças territoriais, promovendo a articulação entre instrumentos de apoio técnico, financeiro e institucional adaptados à realidade de cada espaço produtivo.

Embora o Treinamento não tenha se mostrado estatisticamente significativo, possivelmente em razão da desmobilização das atividades de assistência técnica e extensão rural por parte dos órgãos de extensão rural, vale ressaltar que a orientação técnica desempenha um papel fundamental no desempenho agrícola, fornecendo conhecimentos, diretrizes e suporte aos produtores para aprimorarem suas práticas de cultivo. Por outro lado, os fatores Financiamento e Tecnologia, ambos se mostram significativos. O acesso ao Financiamento, via crédito agrícola, é importante para suportar ações de investimento, que podem trazer a modernização na produção, armazenagem e transporte. E a Tecnologia, com uso de novas máquinas, implementos e irrigação, apresenta evidências de que a produtividade pode ser alavancada, como a área do MATOPIBA demonstra.

No que tange à variável Tecnologia, observa-se que sua proxy, a irrigação, é eficaz na captação dos efeitos tecnológicos sobre a eficiência produtiva, já que os municípios com presença de irrigação tendem a apresentar menores níveis de ineficiência técnica. No entanto, é necessário reconhecer que a irrigação, embora associada à elevação da produtividade, não deve ser entendida como uma solução generalizável a todo o território nordestino.

A irrigação é tecnicamente viável em apenas cerca de 2% da área do Semiárido nordestino, o que impõe sérias restrições à sua expansão como política agrícola universal (Suassuna, 2019). Dessa forma, destaca-se a relevância de políticas diferenciadas por território e por bioma, considerando as restrições edafoclimáticas e a viabilidade econômica local. A experiência de regiões como o MATOPIBA, com alta eficiência técnica associada ao uso intensivo de tecnologia e infraestrutura, pode servir como referência.

No que se refere a desdobramentos futuros, destaca-se a relevância de estudos que aprofundem a análise por tipo de bioma, considerando as especificidades ecológicas e produtivas presentes na região Nordeste. Outra perspectiva está no estudo em relação a diferentes espaços de produção dentro da própria região Nordeste, observando características específicas de sub-regiões e municípios.

A diversidade ambiental da região, que compreende áreas do Semiárido, do Cerrado (notadamente na região do MATOPIBA), da zona da Mata litorânea, entre outras, aponta para a necessidade de abordagens diferenciadas que levem em conta as potencialidades e restrições impostas por cada contexto regional. Investigações futuras podem, portanto, explorar de forma mais desagregada a eficiência técnica em função das características socioeconômicas e institucionais desses espaços, por meio da introdução de variáveis indicadoras (como dummies por bioma), contribuindo para uma compreensão mais robusta dos determinantes da eficiência em diferentes ambientes produtivos.

Além disso, podem ser conduzidas análises voltadas à diferenciação entre grupos de produtos ou culturas específicas, a fim de evidenciar as distintas formas de organização da produção e seus reflexos sobre o desempenho técnico. Complementarmente, o aprofundamento das investigações sobre os diversos espaços de produção intrarregionais, com atenção às peculiaridades de sub-regiões e municípios, pode oferecer subsídios relevantes para o desenho de políticas públicas mais eficazes e territorialmente ajustadas.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 6, p. 21–37, 1977.
- ARAUJO, J. A.; MANCAL, A. Produtividade e eficiência no setor agropecuário do nordeste brasileiro. **Scientific Electronic Library Online**. Campo Grande. jul.-dez. de 2015.
- ARAUJO, W. B. C. ARAUJO, J. A. Produtividade, variação da eficiência técnica e tecnológica na agricultura dos municípios cearenses. **Scientific Electronic Library Online**. 2014.
- BARROS, E. de S.; XAVIER, L. F.; FONSECA, H. V. de P.; COSTA, E. de F. Eficiência na produção agrícola do Vale São Francisco: mensuração de escores e análise de fatores correlacionados. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 63, n. 2, p. 35-50, jul.-dez. de 2016.
- BIAGE, M. **Estatística Econômica e Introdução à Econometria**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. **Lançamento do Plano Safra da Agricultura Familiar 2024/2025 no Pará**. Brasília: MDA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mda/pt-br/noticias/2024/08/lancamento-do-plano-safra-da-agricultura-familiar-2024-2025-no-para>. Acesso em: 16 maio 2025.
- CARNEIRO, W. M. A. Produção Agrícola do Nordeste em 2020. **Diário Econômico ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste. Ano III - Nº 89. ISSN 2594-7338. 13 de Jul. de 2020. Disponível em: < https://g20mais20.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/555/1/2020_DEE_89.pdf > . Acesso em: 18 de jun. de 2021.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1998.
- CRUZ, B. de O.; SILVA FILHO, L. A. da; MELO, J. A. de; RIBEIRO, L. C. de S. Dinâmicas espaciais e estruturais na agricultura brasileira: análises comparativas dos períodos 2013-2017 e 2018-2022. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 62, n. 1, p. 1–25, 2024. Disponível em: <https://revistasober.org/article/doi/10.1590/1806-9479.2025.290289>. Acesso em: 7 de jun. de 2025.
- ECMWF. Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo. 2023. Disponível em: < <https://www.ecmwf.int/> >. Acesso em: 15 de abril de 2023.
- FOSTER, A. D.; ROSENZWEIG, M. R. Aprendendo fazendo e aprendendo com os outros: capital humano e mudança técnica na agricultura. **Journal of Political Economy**, v. 103, n. 6, p. 1176–1209, Dec. 1995.
- FREITAS, R. E. **Produtividade Agrícola no Brasil**. Cap. 12. Técnico de planejamento e pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. 2014.
- FÜRSTENAU, V. **A política de crédito rural na economia brasileira pós 1960**. Porto Alegre, 1987. Disponível em: <http://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/viewFile/1075/1416>. Acesso em: 22 de jun. de 2017.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. P.R.; CONCEIÇÃO, J. C.P. R. da. Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira. **Repositório do conhecimento do Ipea**, jul./set., 2004.

GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. **Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira**. A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Ipea, 2010.

GAZZOLA, R.; WANDER, A. E.; OLIVEIRA, M. P. Eficiência técnica da agricultura brasileira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL NA GESTÃO DO CONHECIMENTO, 41., 2009, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SOBRAPO, 2009. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/697480>. Acesso em: 08 de jun. de 2025.

GOMES, A. P.; ALCANTARA FILHO, J. L.; SCALCO, P. R. Eficiência, tecnologia e produtividade total dos fatores: uma análise das mudanças recentes na agropecuária do Nordeste. In: XIV Encontro Regional de Economia do Nordeste, 2009, Fortaleza. **Anais....** Fortaleza: ANPEC/BNB, 2009. v. 1. p. 1-17.

IBGE. **Censo agropecuário**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 05 jun. 2021.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. K. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge university press. 2000.

KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.; HORNCastle, A. P. **Um guia prático para análise de fronteira estocástica usando Stata**. Cambridge University Press. 2015. Disponível em: https://assets.cambridge.org/97811070/29514/frontmatter/9781107029514_frontmatter.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. **The measurement of productive efficiency**. New York. Oxford University, 1993.

LUNA, A. T.; COSTA, E. M.; CAMPOS, R. T.; SOUZA, H. G. de; DIAS, T. K. M. **Função de produção e eficiência técnica da agropecuária cearense**. Repositório Institucional UFC. 27 de maio de 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/56553>. Acesso em: 24 nov. 2021.

MAPA. **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. 4 de dezembro de 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>. Acesso em: 10 ago. 2021.

MARIANO, J. L.; PINHEIRO, G. M.T. L. Eficiência Técnica da Agricultura Familiar no Projeto de Irrigação do Baixo Açu (RN). **Revista Econômica do Nordeste**. v. 40, n. 2, abril /jun., p. 283–296, 2009. <https://doi.org/10.61673/ren.2009.354>

PEREIRA, C. N. CASTRO, C. N. **Assistência Técnica na agricultura brasileira: Uma análise sobre a origem da orientação técnica por meio do censo agropecuária de 2017**. Rio de Janeiro: IPEA. Out. de 2021. <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10893>

PINTO, L. F. DE P. **Eficiência Técnica e Econômica: Evidências de conflitos na análise da infraestrutura física da Universidade de Brasília (UnB)**. Repositório Institucional da UNB. Brasília-DF, 2013. <http://repositorio.unb.br/handle/10482/16706>

SANTOS, F. A. A. **Condicionantes da eficiência na agropecuária do Nordeste**. Locus Repositório Institucional da UFV. Viçosa- MG. 2002. <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/3e1d6a2f-89f4-45f6-8dcc-104789071ce6/content>

SILVA, F. P. da; ARAÚJO, J. A.; COSTA, E. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Eficiência técnica das regiões semiáridas e não semiáridas do Nordeste brasileiro: Mensurando a função de metafronteira de produção. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA

REVISTA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 17., 2019, Diamantina, MG. **Anais...** Diamantina: ANPEC, 2019.

SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; ALVES, E. R. A.; GASQUES, J. G. Technological progress in the Brazilian agriculture. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 72, december, p. 100879, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100879>

SOUZA, H. G.; CAMPOS, K. C.; CHAVES, F. A. H. Análise da eficiência da produtividade agrícola nas mesorregiões do estado do Ceará. Repositório Institucional UFC. 28 out. 2020. Revista Expressão Católica, Quixadá, v. 9, n. 2, p. 8-21, jul./dez., 2020. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55121>

SUASSUNA, J. A pequena irrigação no Nordeste: algumas preocupações. Recife: Fundação Joaquim Nabuco – Diretoria de Pesquisas Sociais, 2019. **Revista Ciência Hoje**, v. 18, n. 104, outubro, 1994. Disponível em: https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/artigos-de-joao-suassuna/a-pequena-irrigacao-no-nordeste-algumas-preocupacoes?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 09 jun. 2025.

WANG, H.-J. Heteroscedasticity and Non-Monotonic Efficiency Effects of a Stochastic Frontier Model. **Journal of Productivity Analysis**, 18, p. 241–253, 2002.

YIN, Z.; WU, J. Avaliação de Dependência Espacial de Técnico Agrícola Eficiência: Com base na fronteira estocástica e no modelo econométrico espacial. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2708, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13052708>. Acesso em: 16 jun. 2022.

ZANINI, A. **Regulação Econômica no Setor Elétrico Brasileiro**: Uma metodologia para definição de fronteiras de eficiência e cálculo do fator X para empresas distribuidoras de energia elétrica. Repositório Digital PUC-RIO. Rio de Janeiro, ago. de 2004. Disponível em: https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0016231_04_pretextual.pdf Acesso em: 16 jun. 2022.

O PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS COMO MECANISMO DE ENFRENTAMENTO À VULNERABILIDADE SOCIAL DE POPULAÇÕES RURAIS

Payment for environmental services as a mechanism to cope with the social vulnerability of rural populations.

Sérgio Luiz de Oliveira Vilela

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Ciências Sociais. Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Av. Duque de Caxias, 5650 - Teresina-PI, CEP: 64.008-780. sergio.vilela@embrapa.br

Resumo: O objetivo é explorar analiticamente a noção e a aplicação do mecanismo PSA como ferramenta estratégica para a conservação e valorização dos bens naturais, com externalidades também favoráveis ao enfrentamento da pobreza rural, embora não se caracterize como política agrícola, mas sim como um instrumento de política ambiental. A metodologia se ancora em fontes de natureza bibliográfica (teórico-conceitual e experiências empíricas nacionais e internacionais) e documental (documentos da gestão pública). Conclui-se que, além de conservar ecossistemas, o PSA contribui para: (I) a redução da pobreza, da vulnerabilidade social e, assim, para a melhoria das condições de vida das populações impactadas pelas ações e pelos resultados finais; (II) o fortalecimento da resiliência econômica através da melhoria do solo e das práticas agrícolas, do aumento da renda proveniente dos produtos comercializados e da diversificação da economia local gerada pela nova dinâmica socioeconômica; (III) adoção de políticas sociais e de infraestrutura pública nas comunidades; (IV) Apoio à estruturação das cadeias de valor dos produtos locais através da adoção de políticas de fomento. Mas impõe uma governança e um monitoramento complexos, pois envolve ampla parceria entre os setores público, não-governamental, privado e a comunidade *locus* da ação.

Palavras-chave: Ambiente, Clima, Pobreza.

Abstract: The paper explored the concept and application of the PSA mechanism as a strategic tool for the conservation and valorization of natural resources with externalities that are also favorable to combating rural poverty, although it is not characterized as an agricultural policy, but rather as an environmental policy instrument. The methodology is based on bibliographic sources (theoretical-conceptual and national and international empirical experiences) and documentary sources (from federal and state public management documents). It is concluded that, in addition to conserving ecosystems, the PSA contributes to: (I) the reduction of poverty and social vulnerability, and, thus, to improving the living conditions of the populations impacted by the actions and final results; (II) the strengthening of economic resilience through the improvement of soil and agricultural practices, the increase in income from marketed products, and the diversification of the local economy generated by the new socioeconomic dynamics; (III) the adoption of social policies and public infrastructure in communities; (IV) Support for the structuring of value chains for local products through the adoption of agricultural policies. But it requires complex governance and monitoring, as it involves broad partnership between the public, non-governmental and private sectors and the community where the action takes place.

Keywords: Environmental, Climate, Poverty.

1 INTRODUÇÃO

O PSA, como instrumento de política ambiental voltado para apoiar ações de recuperação e conservação de ecossistemas, pode atuar em meio urbano (reciclagem de matérias), periurbanas (proteção de mananciais) ou rurais (proteção da saúde do solo) e busca reparar danos físicos aos ecossistemas, fortalecendo suas diferentes formas de resiliência favorecendo o resgate da cidadania e a superação da vulnerabilidade social das populações das áreas de influência. Ao menos quatro dimensões são objeto das ações constituintes do PSA: ambiental, econômica, social e institucional. Estas dimensões entrelaçam-se estabelecendo relações indissociáveis. Para que a intervenção se caracterize como PSA, há necessidade de: valoração econômica dos bens ecossistêmicos, transformando-os em ativos ambientais; e remuneração dos ocupantes das áreas influenciadas pelos ecossistemas para que aqueles conservem estes. Este processo exige, ao mesmo tempo, uma eficiente governança das intervenções e das inter-relações.

O processo remuneratório, por sua vez, exige a construção de uma parceria entre o pagador e o recebedor de maneira que o primeiro determina condições contratuais relacionadas à recuperação e/ou conservação do ecossistema em questão. Estas exigências estão ligadas ao adequado manejo dos fatores bióticos e abióticos que constituem o ecossistema. O tipo de PSA é definido em função do tipo de ativo ambiental envolvido no processo. No meio rural, espaço de intervenção que é objeto deste artigo, os mais comuns são: produção de água, manejo e conservação do solo, conservação de florestas, sequestro e/ou armazenamento de carbono, recuperação de áreas degradadas, proteção da fauna e da flora e conservação da paisagem. Em geral, ocorre uma reestruturação das infraestruturas de cada domínio, um processo de capacitação técnica dos agentes multiplicadores e das famílias e uma nova relação de todos com a natureza. Nos casos em que não ocorre o uso alternativo do solo, os detentores da posse são remunerados para preservar o ecossistema.

Do ponto de vista econômico, novos aportes estruturais e de conhecimento técnico e tecnológico são agregados aos já existentes. Os prestadores de serviços ambientais instalam estruturas de apoio aos novos processos tecnológicos, passando a serem beneficiados do ponto de vista patrimonial. Os novos conhecimentos geram uma relação mais produtiva com os seus recursos naturais. Na dimensão social, políticas públicas devem ser oferecidas, como saúde, educação, habitação, saneamento básico e assistência social, entre outras. Estes fatores unem-se à remuneração pelos serviços ambientais. Vislumbra-se, assim, um amplo arranjo institucional para que a complexidade do processo seja enfrentada.

Existem, no entanto, limitações potenciais do mecanismo PSA: obtenção de financiamento para os projetos devido à compreensão limitada dos agentes públicos e privados; monitoramento, fiscalização e avaliação do atingimento dos resultados; internalização de uma nova visão sobre o meio ambiente por parte dos prestadores de serviços ambientais; corporativismos institucionais que limitam as parcerias, entre outros. Em todo caso, a dimensão socioeconômica do PSA torna-se uma importante externalidade positiva. Mas, por se tratar de experiências recentes em todo o país, a implementação de um PSA deve considerar a complexidade e as especificidades locais e do arranjo institucional construído caso a caso.

2 ASPECTOS METODOLÓGICOS E TEÓRICO-CONCEITUAIS

2.1 Breve consideração metodológica

A metodologia utilizada se ancora no conceito de pesquisa bibliográfica exploratória, qualitativa (Lima; Mioto, 2007; Poupart et al., 2008; Flick, 2013), com base em fontes de natureza bibliográfica (teórico-conceitual e experiências empíricas nacionais e internacionais) e documental (documentos da gestão pública), por meio de um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções relacionadas ao objeto de estudo. A questão norteadora da pesquisa é: como a noção do conceito de PSA e a aplicação desse mecanismo como ferramenta estratégica para a recuperação, conservação e valorização dos bens naturais, com externalidades também favoráveis ao enfrentamento da pobreza rural, vem sendo tratada pela literatura especializada? O pressuposto inicial é que, tendo em vista o estágio ainda relativamente

embrionário das experiências empíricas com o PSA, como pode ser constatado pela lei brasileira que data de 2021 (Lei 14.119/21), a literatura ainda observa atentamente os resultados da aplicação de diferentes tipos de PSA em espaços territoriais também muito distintos (estados, países, ecossistemas) e vem construindo um arcabouço teórico resultado das observações e investigações em curso. Mesmo assim, já é possível vislumbrar que o PSA possui a virtuosidade de articular diferentes dimensões e, com isso tem sido um mecanismo capaz de enfrentar as vulnerabilidades sociais no meio rural, caracterizando-se esta como uma das suas externalidades positivas.

Assim, o objetivo geral deste artigo é explorar analiticamente a noção e a aplicação do mecanismo PSA como ferramenta estratégica para a conservação e valorização dos bens naturais, com externalidades favoráveis ao enfrentamento da pobreza rural.

Dada a natureza exploratória desta pesquisa e diante da ainda limitada disponibilidade bibliográfica sobre o tema, a principal estratégia investigativa foi a busca por relatos de experiências internacionais e nacionais de PSA para dar suporte analítico ao artigo em epígrafe. Assim, os relatos e as análises das experiências empíricas permitiram ao autor construir um recorte baseado na dimensão socioeconômica do PSA, revelando pontos favoráveis e críticos do mecanismo, sem deixar de observar sua importância multidimensional.

2.2 Concepção, contradições e breve estado da arte da literatura

Os ecossistemas são sistemas complexos formados por seres vivos e elementos abióticos interagindo em um determinado ambiente. O equilíbrio desta interação resulta na produção de ativos ambientais, também chamados de serviços ou bens ecossistêmicos. São estes bens ecossistêmicos que garantem a sobrevivência das espécies e, por tudo isso, devem ser preservados e conservados de maneira a garantir-se a ocorrência natural das interações entre seus componentes bióticos, abióticos, químicos, físicos e biológicos¹.

O resultado da coexistência equilibrada entre os seres humanos e os ecossistemas gera os bens ou serviços ecossistêmicos que são os ativos ambientais: água, florestas, biodiversidade, solos férteis, ar puro, alimentos, fibras, energia, controle da erosão, regulação do clima, serviços recreativos, entre outros. Absolutamente essenciais à vida das espécies e às atividades econômicas, sejam produtos alimentícios, sejam matérias-primas, estes ativos precisam ser valorados economicamente para serem remunerados ou compensados por meio dos serviços ambientais.

Os serviços ambientais representam uma abordagem específica de valoração econômica dos serviços ecossistêmicos. Esta valoração dá-se com base no uso dos recursos naturais pela sociedade e dos custos de conservação dos ecossistemas. O PSA funciona por meio de pagamentos feitos por consumidores de ativos ecossistêmicos a provedores de serviços ambientais. Os consumidores podem ser indivíduos, empresas ou governos. Os provedores podem ser detentores da propriedade/posse de terras, comunidades tradicionais, agricultores ou outras categorias que tenham a liberdade de promover ações de transformação do espaço de vivência e exploração.

Na dimensão socioeconômica, algumas sub dimensões, quando articuladas, alteram significativamente a condição material das comunidades envolvidas e ainda têm potencial de alterar suas respectivas visões de mundo no que tange à relação com o meio ambiente.

No entanto, uma análise crítica da noção de PSA, permite cotejar aspectos harmônicos e aspectos conflituosos dada a natureza contraditória da gênese deste mecanismo. Embora não seja o propósito deste artigo discutir as contradições do PSA, registra-se que a mais evidente se deve ao fato de, em casos que envolvem atividades econômicas, como na agropecuária dita moderna, praticada com base em técnicas e tecnologias geradoras de gases de efeito estufa (GEE), observar-se uma das causas das mudanças climáticas, de acordo com a maior parte dos estudos sobre a crise climática.

¹ Disponível em <https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais/perguntas-e-respostas>

Visando mitigar os efeitos ambientalmente negativos deste padrão agropecuário moderno de uso alternativo do solo, busca-se, através do PSA, invocar a contribuição da população rural, notadamente de agricultores familiares, para adotarem estratégias de manejo dos seus ativos ambientais que, ao invés de objetivarem apenas os resultados da atividade produtiva de bens de consumo agroalimentar, passem a incorporar processos (técnicas e tecnologias) que favoreçam também a recuperação e/ou a conservação dos ecossistemas com os quais possuem relações de múltipla influência. Essa nova relação dos agricultores com os ativos ambientais é caracterizada como prestação de serviços ambientais, pelos quais estes agricultores são remunerados.

A literatura sobre PSA ainda busca, a partir de dados empíricos, construir um arcabouço teórico que possa vir a se ancorar nas teorias clássicas da literatura sociológica, econômica e/ou ambiental, aí englobadas as questões de Estado e políticas públicas. A complexidade reside na grande diversidade de tipos de PSA que variam em função dos tipos de ecossistemas e de espaços de aplicação, dos mecanismos de implementação, dos aspectos legais e institucionais de cada caso, dos mecanismos de monitoramento e avaliação, das parcerias e articulações, da escala e da integração com políticas públicas coadjuvantes, entre outras variáveis.

A literatura, portanto, tem estado mais focada no relato de análises empíricas, notadamente nos aspectos das limitações e dos resultados, sejam os financiados pelo setor privado, sejam pelo setor público, como exemplificados no Quadro 1. Na percepção do autor deste artigo, três dimensões merecem destaque: as externalidades positivas socioeconômicas e ambientais; as dificuldades de monitoramento e avaliação; e a baixa adesão dos setores público e privado ao uso do mecanismo.

De todo modo, avaliações de experiências de PSA, em vários países, têm sido feitas pela ONU, com destaque para os estudos de Stefano Pagiola (Pagiola, 2008; Pagiola et al., 2013). No Brasil, o destaque é para o Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas (ANA), predominantes em estados das regiões Sul e Sudeste, como demonstrado nos estudos de Ana Paula Moraes de Lima e coautores (a exemplo de Lima et al., 2013 e 2015). Neste contexto, este artigo busca enfatizar a relação entre o PSA e a pobreza rural, chamando a atenção para o potencial de virtuosidade desta relação na geração de externalidades positivas tanto na dimensão ambiental quanto no enfrentamento da vulnerabilidade social de comunidades rurais.

Ademais, o entendimento que preside este artigo leva em consideração a necessária diferenciação conceitual entre rural e agrícola. O que o texto globalmente propugna é um imbricamento das duas dimensões tendo em vista que a remuneração pela prestação de serviços ambientais e a melhoria das condições infraestruturais de produção, impactam positivamente no aumento potencial da renda das famílias e, por sua vez, na melhoria da qualidade de vida das populações envolvidas, sejam agricultores, sejam habitantes do espaço rural em foco, podendo dinamizar a economia local.

2.3 Breve contexto histórico

A primeira iniciativa de PSA, de caráter institucional, foi executada em Costa Rica, em 1997 (Pereira et al., 2017) e focada em um ecossistema-chave para a regulação hídrica: as florestas. Nessa abordagem inicial, os serviços ambientais fornecidos pelas florestas, como a proteção de nascentes e a manutenção da qualidade da água, foram valorados economicamente. Dessa forma, a prestação desses serviços por proprietários de terras e comunidades locais foi reconhecida e remunerada. Com base nessa experiência, foi adaptado e ampliado para outros tipos de ecossistemas em outros países, como áreas de conservação da biodiversidade; corpos d'água (rios, lagos, lagoas, reservatórios); solos agrícolas; conservação da paisagem, entre outros (Vilela, 2023).

No Brasil, ainda de acordo com Vilela (2023), o PSA tem sido aplicado em áreas de conservação e recuperação de florestas e de nascentes, onde proprietários rurais recebem pagamento pelo reflorestamento e conservação das áreas de preservação permanente (APP), contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade. Um exemplo é o Programa Bolsa Floresta, desenvolvido no estado do Amazonas com recursos do Fundo Amazônia e do governo do estado. Nesse programa, comu-

nidades locais são recompensadas financeiramente por adotarem práticas de manejo sustentável e de conservação florestal, contribuindo para a redução do desmatamento e a conservação da biodiversidade, promovendo, concomitantemente, o próprio desenvolvimento socioeconômico. Por sua vez, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) tem desempenhado um importante papel com a criação do Programa Produtor de Água, que estimula a política de pagamento por serviços ambientais e a implantação de projetos direcionados à proteção dos recursos hídricos. Para ser contemplado com a marca Produtor de Água, os projetos devem obedecer às condições e diretrizes estabelecidas pela ANA (Lima et al., 2013). Trata-se, portanto, de uma ferramenta de uso global, como mostra o Quadro 1, onde são citados alguns exemplos da amplitude geográfica da aplicação deste mecanismo.

Quadro 1 – Exemplos de PSAs em países das Américas, Europa e Ásia

País	Programa	Local/Data de início	Tipo de PSA	Objetivo	Pagador
EUA	Conservation Reserve Program (CRP)	Cidade de Nova York 1985	Conservação do solo em propriedades rurais	Conservar o manancial de abastecimento de água de NYC	Poder público
	PSA Rio Paw Paw	Michigan 2008	Bacias hidrográficas; conservação do solo	Reduzir perda de solo, recarregar águas subterrâneas e solos mais férteis	Setor privado (Coca-Cola e TNC)
Alemanha	Programa PSA Vale Mangfall	Cidade de Munique 1993	Garantia da qualidade e quantidade de água necessária	Promover gestão sustentável de florestas e apoiar à agricultura orgânica	Usuários privados
África do Sul	Programa Nacional de PSA	País 1995	Melhoria de bacias hidrográficas	Aumentar a produção de água, com regulação de fluxo e controle da erosão	Público-privado
Japão	Eco-farmer certification	Cidade de Osaki 1996	Redução de agroquímicos nas atividades agrícolas	Promover mudanças nas práticas agrícolas; reduzir uso de fertilizantes químicos e pesticidas	Poder público
Equador	Programa Socio Bosque	País 1997	Conservação de bacia hidrográfica	Conservar solos e florestas; proteger a produção de água	Setor privado (água e energia)
França	Programa PSA Vittel	Cidade de Vittel 1998	Garantia da qualidade e quantidade de água	Reduzir a poluição por nitratos nos aquíferos próximos à cidade	Setor privado (empresa)
China	Programa de Floresta e Pastagem	País 1999	Conservação do solo e conservação de bacia hidrográfica	Reduzir o desmatamento; recuperar a cobertura florestal e terras degradadas; proteger a produção de água	Poder público
Costa Rica	Programa de Pagos por Servicios Ambientales (PPSA)	País 1997	Conservação e restauração da floresta nativa	Reduzir o desmatamento; recuperar a cobertura florestal e os solos; proteger a produção de água	Poder público
México	Programa Nacional de PSAs	País 2006	Bacias hidrográficas; conservação da biodiversidade	Produzir água e conservação da biodiversidade	Poder público
Peru	Bacia do rio Cañete	País 2010	Conservação de bacia hidrográfica	Reduzir o desmatamento; recuperar a cobertura florestal e áreas degradadas; proteger a produção de água	Poder público

Fonte: Adaptado de Pereira e Alves Sobrinho (2017).

3 PSA E POTENCIALIDADES DE REDUÇÃO DA POBREZA E DA VULNERABILIDADE SOCIAL DE COMUNIDADES RURAIS

O necessário processo de adoção de tecnologias adequadas às necessidades de recuperação e conservação dos ecossistemas locais cria melhores condições para fortalecimento da sua resiliência e, em decorrência, viabiliza a continuidade da produção dos bens naturais intrínsecos. Resulta deste processo de adoção de novas tecnologias a melhoria das condições de produção de produtos alimentícios e/ou de matérias-primas que podem ser comercializados pelos agricultores. Potencializa-se, assim, melhorias na

qualidade e quantidade dos produtos dado o aumento da produtividade decorrente do uso de técnicas e tecnologias recomendadas pelos especialistas, gerando incremento de renda para as famílias provedoras dos serviços ambientais. Fortalece-se, em decorrência, a resiliência econômica dos envolvidos na prestação dos serviços ambientais, resultado este que, em sendo efetivamente obtido, materializa a virtuosa integração das dimensões ambiental, econômica e social que caracteriza uma das externalidades positivas do PSA.

Estudos no Brasil mostraram que o PSA tem impactos positivos na renda das famílias rurais, reduzindo a dependência de atividades agrícolas de baixa remuneração. Um exemplo é o Programa Bolsa Verde que beneficiou famílias em extrema pobreza que vivem em áreas de conservação ambiental, proporcionando-lhes pagamentos em troca de práticas de preservação ambiental. Esses pagamentos têm contribuído para elevar a renda dessas famílias, reduzindo sua vulnerabilidade (Freire et al., 2019; Moreira et al., 2021).

No México, o PSA foi implementado com sucesso para conservar florestas e melhorar as condições de vida das comunidades rurais através do programa *Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH)* (Klein, 2020). Na condição de instrumento de política pública nacional, foi implantado em 2003, voltado para a criação de novos esquemas de compensação econômica para proprietários de terras que possuem cobertura florestal e a destinam à conservação das florestas e dos serviços ambientais por elas prestados (Alix-Garcia et al., 2017).

Na Costa Rica, o PSA é amplamente reconhecido por sua eficácia na preservação de florestas e na produção de água. Através desse programa, os proprietários de terras recebem pagamentos por conservarem áreas naturais em suas propriedades. Isso não apenas protege a biodiversidade, mas também contribui para a oferta de água potável e beneficia a qualidade de vida das comunidades rurais que dependem desses recursos (Pagiola, 2008; Salas; Murillo, 2017).

Em países africanos, como o Quênia, programas de PSA promoveram a diversificação econômica, tornando as comunidades menos vulneráveis às flutuações climáticas (Kagombe et al., 2018).

No Paquistão, o PSA tem sido usado para conservar florestas e promover o turismo (Muhammada et al., 2021). Isso ajudou a diversificar a renda das comunidades rurais, tornando-as menos vulneráveis a eventos climáticos extremos, como secas ou inundações.

Observa-se, no entanto, que o sucesso do PSA na promoção da resiliência econômica em comunidades rurais depende da adaptação às necessidades locais e da inclusão ativa das comunidades na tomada de decisões. Além disso, o monitoramento e a avaliação constantes são cruciais para garantir que os benefícios econômicos e sociais sejam alcançados de maneira equitativa. Certamente, não se desconhece aqui a complexidade da implantação de um PSA. É um processo que exige uma constante interação entre usuário-pagador e provedor-recebido, desde a construção da parceria, que necessita de multi-institucionalidade, passando pelo monitoramento e fiscalização, até chegar na fase do pagamento ao provedor dos serviços ambientais, pagamento este que também necessita ser efetivo e transparente.

4 COMPONENTES DE GERAÇÃO DAS EXTERNALIDADES SOCIOECONÔMICAS POSITIVAS EM UM PROJETO DE PSA

Deixando de lado, temporariamente, a dimensão ambiental de um PSA, observa-se que suas virtudes socioeconômicas potenciais decorrem de ações que têm por objetivo central o fortalecimento da resiliência dos ecossistemas, mas carregam, nos seus respectivos bojos, processos técnicos e tecnológicos que constroem condições tecnicamente mais adequadas do que as que são comumente encontradas no estágio anterior à implantação do mecanismo. A virtuosidade deste processo provoca, no meio rural, além da melhoria da infraestrutura social, o incremento das condições de produção de gêneros alimentícios e matérias primas gerando oportunidades de incremento do desempenho econômico das atividades produtivas locais. Certamente, apesar da positividade da melhoria dos produtos (produção, produtividade e qualidade), por si só, estes aspectos não garantem aumento da renda familiar à medida em que a comer-

cialização se realiza em mercados concorrentes e o perfil destes produtores possui, comumente, poucas condições financeiras e infraestruturais para enfrentar a concorrência. Surge, assim, a necessidade do apoio de políticas públicas que suportem as lacunas dos sistemas de produção e comercialização. Tendo em conta estas considerações, há que verificar-se os componentes das referidas externalidades:

4.1 Melhoria das práticas agrícolas e da qualidade do solo

A resiliência da maior parte dos ecossistemas terrestres depende da existência de condições favoráveis dos solos, seja para cumprir a função de absorção de águas superficiais, seja para criar condições nutricionais para o desenvolvimento de espécies vegetais agrícolas ou florestais, como também para atividade pecuária. Tendo em conta a premissa de boas condições do solo, há que se lançar mão, ainda, de práticas e técnicas de conservação, considerando que as intempéries climáticas sempre convergem para a alteração dessas boas condições.

No Quênia, o PSA tem incentivado práticas de conservação de solo, como a construção de terraços e a rotação de culturas, preservando a fertilidade do solo e aumentando a produtividade das terras agrícolas. A melhoria do solo e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis têm implicações profundas, capazes de aumentar a produtividade das terras, permitindo que as famílias rurais atendam às suas necessidades alimentares e reduzam a pressão sobre a expansão agrícola para terras anteriormente intocadas. Isso é fundamental para a preservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas (Kagombe et al., 2018).

Na Etiópia, o PSA para a conservação de áreas de montanha (Belay et al., 2022) resultou na melhoria da disponibilidade de água para irrigação. Isso permitiu que os agricultores aumentassem a produção de alimentos e melhorassem a segurança alimentar em suas comunidades. Aumentar a produtividade agropecuária é uma das chaves para a segurança alimentar em comunidades rurais porque promove o aumento da disponibilidade de alimentos e cria excedentes que podem ser comercializados, gerando renda adicional para os agricultores e fortalecendo a economia local.

4.2 Renda dos produtos comercializados

A relação entre a renda gerada pelos produtos alimentícios e matérias-primas provenientes de programas de PSA e seu impacto nas famílias prestadoras de serviços ambientais é um tema de relevância crescente no contexto do desenvolvimento rural e da conservação ambiental no Brasil. Os sistemas de produção tradicionais, frequentemente utilizados pelos agricultores familiares em espaços rurais que compõem as áreas de influência de ecossistemas, caracterizam-se pelo baixo grau tecnológico e, frequentemente, convivem com a exclusão ou falta de capacitação para acessar os benefícios de políticas públicas que lhe ofereçam suporte para acessar os mercados. Entretanto, ao tornarem-se participantes de projetos de PSA, são contratualmente submetidos ao contato com processos e tecnologias que alteram virtuosamente os sistemas de produção em uso. Em decorrência, novas relações com agentes públicos e com mercados passam a ocorrer e os resultados decorrentes destas novas relações tendem a ser significativamente positivos, especialmente no que se refere ao aumento da renda do empreendimento.

Uma das formas de recompensa nos programas de PSA é a comercialização de produtos alimentícios produzidos em bases ambientalmente sustentáveis. Esses produtos incluem mel, castanhas, frutas nativas, ervas medicinais, entre outros de base orgânica, de acordo com a região e a tradição das populações locais, que passam a ser cultivados ou colhidos de maneira ambientalmente responsável. A comercialização desses produtos pode impactar positivamente a renda das famílias prestadoras de serviços ambientais de várias maneiras: (I) a diversificação das atividades produtivas oferece uma fonte adicional de renda para as famílias rurais, reduzindo sua dependência exclusiva da agricultura tradicional; (II) a agregação de valor a produtos alimentícios sustentáveis permite a venda a preços mais elevados no mercado devido à sua qualidade e procedência, o que pode vir a aumentar a margem de lucro para os produtores; (III) o acesso a mercados específicos por meio da adesão a programas de PSA pode abrir

portas para novos mercados, como os de consumidores que valorizam produtos orgânicos e sustentáveis ou mesmo o institucional com garantia de aquisição da produção pelo poder público através dos programas de compras públicas.

Na Colômbia, os agricultores que participam de programas de PSA para a conservação de florestas têm acesso a mercados mais lucrativos para produtos sustentáveis, como café e cacau (Arias-Arévalo; Pacheco-Valdez, 2023). Assim ao promover a conservação florestal pela adoção de práticas agrícolas mais ecológicas, favorece-se o aumento da renda dos agricultores, criando-se um círculo virtuoso em que a conservação ambiental está alinhada aos interesses econômicos das comunidades rurais.

4.3 Diversificação da economia local

No Brasil, projetos de PSA têm impulsionado várias atividades produtivas, como a produção de mel em reservas legais em regiões do Sul da Bahia (Pereira; Campos, 2009), aonde comunidades rurais estão engajadas em programas que envolvem a preservação de áreas de floresta onde abelhas nativas produzem mel. A venda desse mel, certificado como produto sustentável (agroecológico, orgânico), trouxe um aumento significativo na renda das famílias envolvidas. Já em áreas da Amazônia, famílias que praticam o extrativismo sustentável de frutas, castanhas e ervas medicinais têm se beneficiado financeiramente dos programas de PSA, através do Programa Bolsa Verde (Moreira et al., 2021). A procedência territorial destes produtos e os atributos de valor gerados pela “pegada ambiental” intrínseca (produtos agroecológicos) os colocam em nichos de mercado de alto valor agregado. Assim, a comercialização dos mesmos nos mercados nacional e internacional gera renda adicional e fortalece a economia local. Os programas de PSA no Brasil, portanto, têm demonstrado que a renda proveniente da comercialização de produtos alimentícios sustentáveis pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a vida das famílias envolvidas e promover a conservação ambiental.

No Peru, o PSA tem viabilizado a conservação de áreas de alta biodiversidade, atraindo demanda pelo turismo ecológico, criando empregos na indústria do turismo e diversificando a economia local, e, em decorrência, reduzindo a dependência de uma única atividade econômica, tornando as comunidades rurais mais resistentes a choques econômicos (Quintero, 2010). Além disso, o turismo ecológico pode promover a apreciação da natureza e a valorização da conservação ambiental, ao mesmo tempo em que gera empregos.

Trata-se, portanto, da inclusão de produtores provedores de serviços ambientais em “novas” cadeias de valor que operam com produtos de origem agroecológica que são produzidos, portanto, em simbiose com os respectivos ecossistemas.

5 POLÍTICAS SOCIAIS, DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA NA COMUNIDADE E DE APOIO ÀS CADEIAS DE VALOR DOS PRODUTOS LOCAIS

Para que os projetos de PSA sejam eficazes e justos, é imperativo que sejam acompanhados por políticas sociais robustas e infraestrutura adequada, afinal de contas não é demais lembrar que os ecossistemas são formados pela interação simbiótica dos componentes bióticos, abióticos e humanos. Ademais, as externalidades positivas geradas pelas políticas sociais e de infraestrutura social são diversas, tais como:

5.1 Redução das desigualdades sociais

Muitas vezes, as comunidades estão localizadas em áreas rurais remotas e carentes de acesso a serviços básicos, como saúde, educação, habitação e capacitação. A inserção de políticas sociais pode melhorar a qualidade de vida dessas populações e torná-las mais resilientes às mudanças climáticas e mais preparadas para a oferta de serviços ambientais. Ações nas áreas da educação, através do apoio às escolas públicas, incluindo materiais didáticos, formação de professores e atividades de educação ambiental; na saúde, através do saneamento básico, da disponibilidade de profissionais e de unidades de saúde básica; e na economia, através do incentivo e apoio ao empreendedorismo em atividades como agrofloresta, turismo e artesanato também fazem parte das ações de políticas públicas que visam estruturar as comunidades envolvidas em projetos de PSA.

Mais uma vez, cita-se o exemplo do Projeto Bolsa Verde, no Brasil, que oferece incentivos financeiros para famílias que vivem em áreas de conservação e é acompanhado pelo Programa Bolsa Família, proporcionando um apoio adicional às comunidades ou, ainda, projetos que oferecem treinamento em agroecologia e boas práticas agrícolas, como o Programa ABC Cerrado², que têm impactado positivamente as comunidades rurais, promovendo a conservação dos biomas objetos das respectivas intervenções.

5.2 Infraestrutura pública

A infraestrutura pública incluindo estradas rurais, comunicação eficiente, sistemas de irrigação apropriados, unidades de processamento de alimentos e armazenamento adequado contribuem para a criação de cadeias de valor para produtos alimentícios ou matérias-primas da sociobiodiversidade, da economia criativa e os que são destinados aos mercados institucional e de proximidade. Trata-se, portanto, de uma estratégia de desenvolvimento que entrelaça a dimensão ambiental; a dimensão econômica, materializada na obtenção de renda através do pagamento (monetário ou não) aos prestadores de serviços ambientais; a estruturação e capacitação das cadeias de valor capitaneadas pelos produtos alimentícios e matérias-primas geradas; e a dimensão social, materializada nos instrumentos de políticas sociais implantados nas comunidades *locus* das ações do projeto de PSA. O acesso aos mercados, um dos componentes fundamentais da cadeia de valor, depende da infraestrutura de comunicação, de transporte e de logística, vitais para conectar as comunidades rurais aos mercados institucionais, de proximidade ou mesmo os nichos de mercado demandantes de produtos da agrobiodiversidade. Isso permite o alcance de um público mais amplo, gerando renda e incentivando a adoção de práticas ambientalmente responsáveis.

Autores, citados anteriormente, apontam que em diversos outros países, a situação pouco difere da do Brasil, o que significa reafirmar a necessidade da articulação do PSA com políticas sociais e de infraestrutura pública que sejam capazes de incluir e empoderar, de maneira indissociável e em visão simbiótica, os prestadores de serviços ambientais, protagonistas dos projetos de PSA.

5.3 Políticas agrícolas para o desenvolvimento rural integrado

As políticas agrícolas se enquadram perfeitamente neste contexto de fortalecimento da resiliência socioeconômica das populações participantes do PSA, pois são capazes de viabilizar ações estratégicas, como: A) o apoio à produção agrícola sustentável que é essencial para garantir a viabilidade econômica das propriedades rurais e para reduzir a pressão sobre os recursos naturais incluindo políticas de crédito, assistência técnica e extensão rural, e programas de pesquisa e desenvolvimento; B) investimento em infraestrutura rural necessária para melhorar a qualidade de vida das populações rurais e para facilitar o acesso aos mercados, incluindo políticas de saneamento básico, energia elétrica, transporte e comunicação; C) promoção da diversificação econômica visando reduzir a dependência da agricultura e para criar novas oportunidades de emprego e renda nas áreas rurais, incluindo políticas de fomento ao turismo, ao artesanato e a outras atividades econômicas não agrícolas. Todas estas ferramentas e estratégias complementares ao PSA contribuem para o aumento da resiliência das comunidades rurais às mudanças climáticas e a outros desafios.

Como a maioria dos prestadores de serviços ambientais são agricultores familiares que, ao longo do tempo e por falta de recursos financeiros e de conhecimento técnico, passaram a conviver com uma agricultura técnica e organizacionalmente precária, a oferta de políticas agrícolas complementares ao PSA é necessária para capacitá-los a optarem por processos produtivos aderentes a uma agricultura resiliente e amigável em relação ao ecossistema. Esta nova perspectiva favorece a estruturação de cadeias de valor apropriadas aos tipos de gêneros produzidos, às condições logísticas e aos perfis de mercados capazes de serem acessados. Dentre os principais instrumentos de política agrícola, destacam-se:

² Disponível em <https://www.cnabrazil.org.br/projetos-e-programas/abc-cerrado>

5.3.1 Acesso ao crédito rural

A superação da vulnerabilidade econômica, tecnológica e mercadológica dos estabelecimentos rurais inter-relacionados aos projetos de PSA só pode ocorrer através de investimentos financeiros em infraestrutura e modernização tecnológica com tecnologias adaptadas à realidade de cada atividade produtiva. Facilitar o acesso ao crédito sustentável (de baixo custo, longo prazo e desburocratizado) para agricultores e pequenos empreendedores rurais ajuda a impulsionar iniciativas econômicas sustentáveis, como a melhoria da qualidade e da produtividade, bem como a agregação de valor, quando for o caso.

5.3.2 Assistência técnica e extensão rural (ATER)

Investimentos financeiros em infraestrutura e tecnologias devem ser, necessariamente, acompanhados de políticas públicas de ATER para que os mesmos ocorram dentro dos padrões de conhecimento técnico e administrativo recomendados, ajudando a melhorar a produtividade e a eficiência das atividades rurais. Implementar programas de ATER significa fornecer apoio prático aos agricultores, incluindo treinamento e acesso a informações sobre práticas agrícolas modernas e sustentáveis, mas também sobre estratégias de acesso a mercados consumidores e gestão do empreendimento.

Significa dizer que na ausência de ATER, o comprometimento das famílias com a contratação do crédito que financiará os investimentos torna-as extremamente vulneráveis às intempéries climáticas e às instabilidades das cadeias de valor às quais estiverem vinculadas. A ATER é, assim, indispensável, sem a qual, não haverá viabilidade econômica do empreendimento.

5.3.3 Apoio à Diversificação Econômica

O mecanismo PSA promove uma mobilização territorial capaz de estimular o desenvolvimento de outras atividades, inclusive não agrícolas. Assim, promover a diversificação econômica em áreas rurais, incluindo o desenvolvimento de pequenas indústrias, do artesanato e o estímulo ao turismo rural, pode criar alternativas econômicas sustentáveis que viabilizem e garantam longevidade para as atividades convencionais praticadas no contexto do PSA.

Mais uma vez, ressalta-se a importância da parceria institucional como instrumento de capacitação dos atores sociais envolvidos, notadamente, na dimensão gerencial dos processos produtivos. Neste aspecto, a contribuição das entidades do terceiro setor é fundamental para apoiar e capacitar estas comunidades para interagirem efetivamente nos processos de decisão e de execução das ações. A diversificação das atividades produtivas é, portanto, estratégica no âmbito da dimensão econômica do PSA.

5.3.4 Acesso a mercados

Todos os esforços, antes mencionados, de articulação de políticas sociais e econômicas em torno de projetos de PSA só terão viabilidade se houver medidas que viabilizem o acesso dos protagonistas (prestadores de serviços ambientais e outros empreendedores locais) aos mercados. Levando-se em conta que trata-se de atores sociais vulneráveis às regras da concorrência, o acesso dos mesmos aos mercados só se viabiliza em condições adequadas se forem disponibilizados instrumentos de políticas públicas que os protejam e empoderem no enfrentamento das condições dos mercados convencionais, o que demanda um longo processo de maturação e estruturação dos empreendimentos familiares exigindo a utilização de instrumentos de políticas públicas alternativas, como a disponibilização dos mercados institucionais (compras públicas) que tem se constituído em uma das mais eficientes estratégias levando-se em conta o estágio inicial de estruturação destes *players* vinculados ao PSA. Há, no entanto, a necessidade de conexão com mercados autônomos, como feiras especiais e específicas para produtos agroecológicos e outros derivados da sociobiodiversidade, mercados de especialidades (*fair trade*) demandantes de produtos que se caracterizam por um *savoir faire* ou por denominações de origem geográfica, além dos mercados de proximidade que possibilitam vantagens competitivas pela quase eliminação dos custos de logística e transporte. São todas alternativas que encaminham os

beneficiários do PSA para um processo paulatino de estruturação que lhes proporcione condições de independência e de livre concorrência em um futuro almejado.

6 POLÍTICAS DE GOVERNANÇA DO PSA: PARTICIPAÇÃO COMUNITÁRIA, RISCOS INTRÍNSECOS E CONFLITOS POTENCIAIS

O grau de complexidade envolvido na governança de projetos de PSA vai além das ações e atividades vinculadas diretamente à dimensão biológica dos ecossistemas, chegando até às suas dimensões social, econômica e política que também os compõem.

6.1 Participação comunitária

Um dos maiores desafios para a obtenção do sucesso na implementação de um projeto de PSA, em longo prazo, é a tomada de consciência dos provedores de serviços ambientais de que suas respectivas ações contribuem para o enfrentamento às mudanças climáticas. Significa que, ao invés de beneficiários de “programas sociais”, os mesmos passem a ser agentes de transformação socioproductiva e socioambiental que resultam na criação de condições de resiliência dos ecossistemas, seja através da recuperação ou restauração, seja através da conservação dos mesmos. Assim, ao invés de uma ação passiva, esta tem que ter caráter ativo e características de ativismo ambiental com reflexos diretos, também, nas condições sociais e econômicas planetárias. É, portanto, indispensável que os proprietários e gestores de bens e serviços ambientais tenham papel ativo desde a sua concepção, implementação e monitoramento, permitindo que os seus proponentes entendam melhor as necessidades e interesses das comunidades que serão por eles afetadas. As comunidades que se envolvem na implementação dos projetos são mais propensas a apoiá-los e a contribuir para a sua manutenção ao longo do tempo.

6.2 Riscos intrínsecos

Frequentemente, os projetos de PSA estão sujeitos a uma série de riscos intrínsecos e conflitos potenciais, que podem dificultar sua implementação e sucesso. Dentre os principais riscos, alguns merecem destaque:

6.2.1 Incerteza sobre os serviços ambientais:

A eficácia dos projetos de PSA depende da manutenção, por longos prazos, dos serviços ambientais. No entanto, esses serviços podem ser afetados por uma série de fatores, como mudanças climáticas, eventos climáticos extremos e atividades humanas ou ainda a solução de continuidade do financiamento. Dadas as potencialidades destas circunstâncias, a ampla parceria em projetos de PSA é fundamental para o atingimento dos objetivos à medida em que a diversidade de atribuições institucionais envolvidas pode mitigar eventos indesejados e inesperados;

6.2.2 Altos custos de implementação:

Os projetos de PSA podem ser caros de implementar, principalmente em áreas rurais com infraestrutura precária. Esta dimensão financeira exige ampla parceria público-privada e comunitária que garanta resiliência também financeira aos projetos. Assim, ainda que estes sejam diretamente financiados por fontes privadas, as dimensões externas (social, econômica, cultural e política) guardam grande importância para a acurácia dos mesmos. Efetivamente, cabe ao poder público a responsabilidade pela gestão dos aspectos externos aos projetos de PSA visando à criação de condições de suporte e eliminando fatores externos ameaçadores;

6.2.3 Mais uma vez, a parceria com o poder público (especialmente municipal) e com a comunidade pode dar maior segurança em relação ao monitoramento, fiscalização e avaliação dos mesmos.

A base do monitoramento são os contratos de prestação de serviços firmados entre o usuário/pagador e o provedor/recebido. Nos mesmos constam as atividades a serem desenvolvidas, as metas e o *modus*

operandi a ser utilizado. No entanto, o acompanhamento frequente do cumprimento dos compromissos é decisivo para a eficácia do contrato e o atingimento dos objetivos. Em certas situações, não realizar uma determinada atividade no momento devido pode impactar em todo o processo de recuperação ou de conservação do ecossistema. É sempre bom lembrar que se trata de processos biológicos, químicos e mecânicos que, combinados, geram o resultado programado. No entanto, caso uma destas dimensões seja negligenciada, as demais são invariavelmente prejudicadas, colocando em xeque o resultado;

6.2.4 Dependência econômica:

A dependência excessiva dos pagamentos monetários pode criar uma vulnerabilidade econômica quando os programas são descontinuados ou reduzidos. Efetivamente, se uma comunidade rural passa a depender fortemente dos pagamentos do PSA e esses pagamentos são interrompidos de repente, isso pode prejudicar significativamente sua economia local. Ressalta-se, portanto, a necessidade de políticas públicas que viabilizem e/ou potencializem a estruturação de atividades produtivas que tenham potencial de promover a resiliência e a independência econômica dos prestadores de serviços ambientais incorporados aos projetos de PSA, o que produzirá reflexos positivos nas comunidades envolvidas;

6.2.5 Conflitos de uso da terra:

A implementação de projetos de PSA pode levar a conflitos de uso da terra, especialmente quando os pagamentos são vinculados a restrições de atividades como agricultura ou extração de madeira. Agricultores locais podem resistir às restrições impostas pelos contratos de PSA alegando que isso prejudica suas atividades tradicionais. Esta eventualidade mostra a complexidade da governança de um projeto de PSA, especialmente, no que se refere à participação das comunidades impactadas (direta ou indiretamente) pelas ações do projeto;

6.2.6 Dependência de financiamento externo (internacional):

Em casos em que projetos de PSA dependem de financiamentos internacionais, considera-se o risco potencial deles tornarem-se vulneráveis a flutuações dos desembolsos dos respectivos financiadores. Outra vez, a amplitude das parcerias para implementação dos projetos é fator decisivo para a longevidade e o sucesso pois, na hipótese antes referida, a atuação dos parceiros, seja o poder público ou um novo arranjo institucional cabível, pode vir a ser o suporte necessário para a manutenção das ações programadas;

6.2.7 Efeito de deslocamento:

Em alguns casos, projetos de PSA podem simplesmente deslocar atividades degradantes do meio ambiente para outras áreas, em vez de abordar efetivamente a degradação ambiental. Nesta hipótese, agricultores podem abandonar suas terras em áreas de conservação devido a restrições do PSA, mas deslocam suas práticas degradantes para outras regiões. Estes riscos e ameaças remetem à noção de que o combate às mudanças climáticas, em quaisquer circunstâncias, torna indispensável a conscientização dos envolvidos das consequências indiscriminadas delas derivadas, afetando a todos os seres vivos, incluindo, por óbvio, os envolvidos nos projetos de PSA. Cabe, nestas circunstâncias, um reforço de concertação entre os envolvidos nos projetos de PSA para garantir que todos somem esforços e com o mesmo compromisso;

6.2.8 Falta de transparência e *accountability*:

A falta de transparência e responsabilidade no gerenciamento dos projetos de PSA pode levar à corrupção e apropriação indébita de fundos. Isso pode prejudicar a confiança das comunidades e afetar negativamente a sustentabilidade do projeto. Este risco traz a exigência de que a governança do PSA tenha sempre caráter coletivo com a participação de todos os envolvidos, desde o financiador, passando pelas instituições parceiras, pelos prestadores de serviços, até os representantes das comunidades impactadas com as externalidades dos projetos.

6.3 Conflitos potenciais

A diversidade de situações fáticas que podem ser encontradas na execução de projetos de PSA é ilimitada dadas as especificidades do ecossistema, as características culturais das comunidades, os interesses econômicos locais envolvidos e o nível de comprometimento do poder público (principalmente em nível municipal) em apoiar a implementação do projeto.

Os conflitos podem ocorrer entre comunidades vizinhas à medida em que a ação do PSA tenha potencial de interromper processos produtivos tradicionais adotados na região, levando a alterações involuntárias que eventualmente prejudiquem os interesses de outras comunidades circunvizinhas que, por exemplo, competem pelos mesmos recursos naturais. Também podem ocorrer entre comunidades e proponentes dos projetos, principalmente quando as comunidades não se sentem representadas ou quando não estão satisfeitas com os termos dos projetos. Como já argumentado, um projeto de PSA não significa apenas “fazer funcionar uma engrenagem ou uma linha de montagem”. É sim, uma reação coletiva aos processos degradantes impostos à natureza através dos seus ecossistemas. Por ser uma reação coletiva, é crucial a conscientização dos sujeitos sociais envolvidos, de que os mesmos estão do mesmo lado e que não há solução se houver “cabo-de-força” na relação entre as partes. Decorre daí a necessidade irremovível de que as comunidades sejam, desde o início, participantes dos processos de negociação e implantação dos projetos de PSA.

Para mitigar esses riscos e conflitos, é essencial que os projetos de PSA sejam bem planejados e implementados, com uma governança eficiente e participativa que busque a compreensão das necessidades e interesses das comunidades que serão afetadas por eles e negociando a utilização dos mecanismos necessários para promover a sua aceitação viabilizando, assim, sua manutenção ao longo do tempo. Um projeto de PSA que visa promover a conservação das florestas, exige que os proponentes do mesmo entendam as razões pelas quais as comunidades locais desmatam as florestas e, a partir da apreensão da realidade local, proponha projetos que abordem as causas do desmatamento. Este método de abordagem possibilita maior aceitação e a consequente longevidade do projeto já que os envolvidos passam a ter um senso de propriedade sobre o mesmo e estão mais propensas a beneficiarem-se dos seus resultados.

Certamente, a participação ativa das comunidades na tomada de decisões, a transparência na distribuição dos benefícios e a diversificação das fontes de renda são estratégias que podem ajudar a reduzir os riscos sociais e econômicos. Além disso, a avaliação regular dos impactos multidimensionais é crucial para identificar e resolver problemas potenciais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O debate aqui proposto coloca em relevância a mais importante externalidade do mecanismo PSA, qual seja, a sua dimensão socioeconômica. Os reflexos positivos para os prestadores de serviços ambientais e suas comunidades (que também são partes integrantes do ecossistema) situam-se na possibilidade de construção de um processo longo e sustentável de desenvolvimento rural. Essa assertiva baseia-se na concepção de que a conservação dos ecossistemas representa a única possibilidade de proteção e consequente perpetuação das espécies, dentre as quais, a humana. Assim, as oportunidades de enfrentamento das vulnerabilidades sociais dos seres humanos diretamente envolvidos no provimento dos serviços ambientais, constitui-se parte estratégica da própria conservação dos ecossistemas.

Destacam-se os seguintes aspectos: redução da pobreza, da vulnerabilidade social e a melhoria das condições de vida; fortalecimento da resiliência econômica através do apoio às cadeias de valor dos produtos locais, da melhoria do solo e práticas agrícolas, da renda adicional proveniente dos produtos comercializados e da diversificação da economia local; políticas sociais e de infraestrutura pública na comunidade e políticas de governança através da participação comunitária, da mitigação dos riscos intrínsecos e dos conflitos potenciais.

As considerações finais apontam para a afirmação do PSA como mecanismo capaz de gerar processos virtuosos para o meio ambiente e sua dimensão global, especialmente para as comunidades direta-

mente envolvidas. Portanto, consideradas as complexidades inerentes a processos com as características já analisadas, as potencialidades de geração de externalidades positivas do PSA são significativas. A governança, no entanto, torna-se crucial, aliada à adoção de políticas públicas complementares que visem as questões socioeconômicas e infraestruturais locais.

Tendo em consideração a literatura consultada, em parte citada neste artigo, é possível inferir que o avanço no conhecimento sobre PSA tem por base observações de experiências empíricas, corroborando o pressuposto inicial exarado no item 2, que trata da abordagem metodológica. Significa dizer que o estágio atual da apropriação de conhecimentos sobre as virtudes, os riscos e as contradições do PSA ainda não foram suficientes para a construção de um arcabouço teórico que o ancore e situe no debate sobre as teorias do ambientalismo. O que já é possível inferir é que se trata de um mecanismo de ampla abrangência dimensional com significativo potencial de eficácia para recuperação e conservação ecossistêmica e, em decorrência, para enfrentamento da crise climática.

REFERÊNCIAS

ALIX-GARCIA, J. M.; SIMS, K. R.; OROZCO-OLVERA, V. H.; COSTICA, L. E.; FERNÁNDEZ MEDINA, J. D.; ROMO MONROY, S. Payments for environmental services supported social capital while increasing land management. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 27, p. 7016-7021, 2018. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1720873115>. Acesso em 15 fev. 2024.

ARIAS-ARÉVALO, P.; PACHECO-VALDÉS, N. Implementación de pagos por servicios ambientales en la Cuenca del río Cali, Colombia: una mirada desde los sistemas socioecológicos. **Revista de Economía e Sociología Rural**, v. 61, n. 2, p. e256251, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/ksjgpvXrK9X5BvtpzxvQRfM/?format=pdf&lang=es>. Acesso em 10 fev. 2024.

BELAY, T.; MELESE, T.; SENAMAW, A. Impacts of land use and land cover change on ecosystem service values in the Afroalpine area of Guna Mountain, Northwest Ethiopia. **Heliyon**, v. 8, n. 12, p. e12246, Dec. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022035344>. Acesso em 12 fev. 2024.

FLICK, U. **Introdução à metodologia da pesquisa**: um guia para iniciantes. Porto Alegre: Penso, 2013. 256 p.

FREIRE, F. de S.; SILVA, N. O. da; LUGON, A. G.; CARVALHO, E. R. O. de. *Dialogic accounting* para sistema democrático de informação: analisando o caso do programa Bolsa Verde. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, v. 14, n. 4, p. 56-79, 2019. DOI: https://doi.org/10.21446/scg_ufrj.v14i4.27071

KAGOMBE, J. K.; CHEBOIWO, J. K.; GICHU, A.; HANDA, C.; WAMBOI, J. Payment for environmental services: status and opportunities in Kenya. **Journal of Resources Development and Management**, v. 40, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/234696560>. Acesso em: 20 fev. 2024.

KLEIN, M. An evaluation of payment for ecosystem service models implemented in areas of rural poverty in China, Rwanda, Zimbabwe, and Mexico. **Life: The Excitement of Biology**, v. 8, n. 2, p. 77-104, 2020. DOI: [https://doi.org/0.9784/LEB8\(2\)Klein.01](https://doi.org/0.9784/LEB8(2)Klein.01).

LIMA, A. P. M. de; ALBUQUERQUE, R. H.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; FIDALGO, E. C. C.; SCHULER, A. E. Pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil: experiências iniciais e os desafios do monitoramento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. Água, desenvolvimento econômico e socioambiental: anais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. 1 CD-ROM.

LIMA, A. P. M. de; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E.; FIDALGO, E. C. C. Metodologias de monitoramento de programas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão: anais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 1 CD-ROM.

LIMA, T. C. S. de; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista katálysis**, v. 10, n. esp., p. 37-45, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-49802007000300004>.

MOREIRA, C. C. S.; SILVA, T. I. da; LIMA, P. V. S.; RIBEIRO, T. G. O programa bolsa verde em reservas extrativistas costeiro-marinhas na Amazônia Brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 96718-96740, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-129>.

MUHAMMADAB, S.; HABIBA, U.; RAZA, G.; BANO, S. A.; SHAH, S.; SABIR, M.; AMIN, M.; ALAM, S.; AKHTAR, A.; HUSSAIN, M. Payment for ecosystem services (PES): a holistic tool for sustainable forest management-a case study from Pakistan. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e246002, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.246002>.

PAGIOLA, S. Payments for environmental services in Costa Rica. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 712-724, May 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.033>.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. (org.). **Experiências de pagamento por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2013. 336 p.

PEREIRA, C. S. de S.; ALVES SOBRINHO, T. Cenário mundial dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSAS) para conservação hídrica. **Ambiência**, v. 13, n. 2, p. 518-536, maio/ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.02.17rb>.

PEREIRA, M. A.; CAMPOS, W. G. de. Pagamento por serviços ambientais aliando conservação e Ecoturismo. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 2, n. 3, p. 255-272, 2009. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/view/5859/3729>. Acesso em: 20 fev. 2024.

POUPART, J.; DESLAURIERS, J. P.; GROULX, L. H.; LAPERRIÈRE, A.; MAYER, R.; PIRES, A. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis: Vozes, 2008. 464 p. (Coleção Sociologia).

QUINTERO, M. (ed.). Servicios ambientales hidrológicos en la región andina: estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales. Lima: IEP: CONDESAN, 2010. 252 p. (Agua y Sociedad, 12; Serie Panorama Andino, 1). Disponível em: https://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/files_mf/13625957516Serviciosambientaleshidrol%C3%83%C2%B3gicosenlaRegi%C3%83%C2%B3nAndina.pdf. Acesso em: 15 jan. 2024

SALAS, C. P.; MURILLO, S. A. M. Impacto socioeconómico del Programa Pago por Servicios Ambientales, modalidad reforestación, en el noroeste de Costa Rica. **Ambiente y Desarrollo**, v. 21, n. 40, p. 73-91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.isps>.

VILELA, S. L. de O. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em uma visão panorâmica: contribuições ambientais, econômicas e sociais. **Raízes**, Campina Grande, v 43, n. 2, p.366-383, jul./dez., 2023.

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE A OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DE SOJA: REFLEXÕES SOBRE O CASO BRASILEIRO

Bibliometric review on optimizing soybean transportation logistic: Brazilian case reflections

Maisa Sales Gama Tobias

Engenheira Civil. Doutora em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo. Professora Titular da Universidade Federal do Pará. Av. Perimetral, Nº 01, Belém - PA, CEP: 66075-110, Brasil. isatobias1@gmail.com

Luan Carlos Paiva Fiedler

Engenheiro Civil. Mestrando em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. Av. Perimetral, Nº 01, Belém - PA, CEP: 66075-110, Brasil. luanfiedler@gmail.com

Victoria Lima de Oliveira

Graduanda em Engenharia Naval pela Universidade Federal do Pará. Av. Perimetral, Nº 01, Belém - PA, CEP: 66075-110, Brasil. victlima00@gmail.com

Amanda Gracielly dos Santos Pinto

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará. Av. Perimetral, Nº 01, Belém - PA, CEP: 66075-110, Brasil. amandagraciellysantos@gmail.com

Robson Ryan Sousa Moura

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará. Av. Perimetral, Nº 01, Belém - PA, CEP: 66075-110, Brasil. robsonryansousamoura07@gmail.com

Resumo: A preocupação com a questão logística do transporte de soja tem se tornado um tema constante para o desenvolvimento social e econômico de países. Neste trabalho, com o objetivo de subsidiar pesquisas na área, foi realizada uma combinação de revisão sistemática reforçada por uma revisão bibliométrica, com um arcabouço de produções científicas nas bases *Scopus e Web of Science*, evidenciando de forma qualitativa e quantitativa o estado da arte dos trabalhos e respectivas lacunas. Como resultados, pode-se observar que estão sendo mais abordados os assuntos de aspectos operacionais, ligados à cadeia de abastecimento e suprimento de grãos, com carência de produções ligadas à modelagem de sistemas de transporte, abrangendo questões sociopolíticas, ambientais e de estratégias de desenvolvimento regional. A revisão bibliométrica mostrou-se bastante sensível em resultados, a depender das palavras-chave adotadas, e eficiente meio de busca bibliográfica, podendo o trabalho desenvolvido ser replicado e alargado para explorar outras terminologias, de acordo com a necessidade da investigação a que for submetida.

Palavras-chave: produções científicas, bases bibliográficas, rotas de eficiência, Brasil.

Abstract: The concern about the logistical issue of soy transport has become a constant theme for the social and economic development of countries. In this work, with the objective of subsidizing research in the area, a combination of a systematic review reinforced by a bibliometric review was performed, with a framework of scientific productions in the bases *Scopus and Web of Science*, qualitative and quantitative evidence of the state of the art of the works and respective gaps. As a result, it can be observed that are being more addressed the issues of operational aspects, linked to the supply chain and grain supply, with lack of production linked to the modeling of transport systems, covering socio-political issues, strategies of regional development. The bibliometric review proved to be very sensitive in results, depending on the keywords adopted, and efficient means of bibliographic search, and the work developed can be replicated and extended to explore other terminologies, according to the need of the investigation to which it is submitted.

Keywords: scientific productions, bibliographic bases, efficiency routes, Brazil.

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura oleaginosa que no mundo atual desempenha um papel bastante significativo na produção de alimentos e rações. Dados apresentados em relatórios de organizações agrícolas, institutos de estatística, órgãos governamentais e organizações internacionais relacionadas à agricultura, como, por exemplo, os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA, tratado por Vaiknoras e Hubbs (2023), revelam a grandeza de produção e os principais produtos, bem como os principais insumos que a soja contribui para a alimentação do planeta. Os Estados Unidos e o Brasil estão à frente da produção de soja mundial: o Brasil, em particular, vem de um rápido crescimento na produção de grãos de soja nas últimas décadas, com 147,5 milhões de toneladas produzidas na safra 2022/2023 (CONAB, 2024). As regiões do Centro-Oeste brasileiro, principalmente, no Estado do Mato Grosso, foram convertidas em áreas produtivas para atender à crescente demanda. No mercado consumidor, países da Ásia são grandes consumidores de soja. Ao analisar os destinos, quase 90% do volume comercializado em outubro teve como destino a China (Nascimento, 2023).

Existem questões fundamentais em termos de Amazônia quanto à disponibilidade de informações para processos decisórios do ponto de vista econômico e político. Especificamente, em relação à logística de transporte na região, aos estudos socioeconômicos e geopolíticos, em revisões sistemática de literatura, pode-se verificar a diversidade de pesquisas (Silva, Tobias e Rocha, 2022) e, ainda, de abordagens analíticas, buscando caracterizar configurações espaciais de demanda e fluxo de transporte (Neto; Nogueira, 2020), além de análises que abordam as expectativas dos benefícios sociais, de competitividade econômica e de cooperação, para o enfrentamento das mazelas regionais (Alves, 2023). Do ponto de vista logístico, ainda, há necessidade de estudos de localização de ambientes logísticos, tais como plataformas, para dar suporte à atividade de logística e ao transporte de carga e de formação de redes de transportes, como contribuição ao desenvolvimento social e econômico das áreas produtoras (Pastre, 2018).

Em particular, retrata-se neste trabalho os estudos sobre otimização de rotas logísticas de transportes em termos de produção mundial e, em particular, para o agronegócio da soja do centro-oeste brasileiro, cuja produção nacional representou o valor de 45,9% em 2023 (CONAB, 2023), em dimensão incompatível com a dotação de infraestrutura viária para o seu escoamento. No diapasão do aprofundamento do estudo do tema, este artigo buscou reunir o arcabouço de produções científicas, nas bases *Scopus e Web of Science*, a partir de uma revisão bibliométrica, evidenciando de forma quantitativa e qualitativa os trabalhos relacionados com a temática. O artigo possui um referencial teórico em termos globais, porém, em termos empíricos, calcado na produção e exportação da soja brasileira do Centro-Oeste, com viés para a otimização na busca da eficiência das rotas de transporte. A motivação para este trabalho, em nível mais aprofundado de revisão de literatura sobre o tema, deve-se ao fato de que na revisão sistemática prévia foi encontrada bibliografia escassa; sendo a revisão bibliométrica, associada ao uso do *software VOSviewer*, um segundo recurso, mais robusto para se obter resultados mais abrangentes e, como isto, ampliar o espectro de produções científicas sobre o assunto.

2 METODOLOGIA

Com o advento da globalização, houve um aumento do comércio internacional e os países passaram a experimentar uma concorrência que deixou de ser local (Nascimento, 2020). Por consequência, diversas atividades econômicas se inseriram no circuito mundial do agronegócio, fortalecendo as redes de transportes, como instrumentos de competitividade global. No mercado mundial da produção e exportação de soja, tem-se Brasil e Estados Unidos como os principais produtores, com 65,8% da produção global (EMBRAPA, 2024) e, em contrapartida, a China, que é detentora do título de maior consumidora de grãos.

Neste sentido, em se tratando do Brasil, o escoamento de tal mercadoria é derivado, principalmente, do Estado do Mato Grosso, tendo como principal modo o transporte rodoviário (Fatoretto; Oliveira,

2019). Vale ressaltar que, aproximadamente, 68% das rodovias utilizadas para o escoamento da soja no Estado do Mato Grosso são federais, dentre as quais, se destacam as rodovias federais BR-163, BR-364, BR-174, BR-158 e BR-070, tanto para as rotas no sentido Norte quanto para as rotas no sentido Sul do Estado (Souza, 2021).

Porém, é fato que a rede de transporte tem caráter multimodal, para efeito de exportação de soja no Brasil, por ferrovias, como a Ferronorte e, hidrovias, como a do rio Paraguai-Paraná, do rio Madeira-Amazonas, ou mesmo por canal navegável como no rio Tapajós, na composição do percurso logístico, ainda que sejam esses modos utilizados em percentual a desejar, comparado a países como os EUA e a China. Na rede logística de transporte nacional de exportação de soja, destacam-se os portos de Santos, Paranaguá e Vitória, além dos portos de Porto Velho, Vila do Conde e Itacoatiara (Matos *et al.*, 2021).

Diante deste cenário, Faro *et al.* (2023) afirmam que é importante constar que todos os corredores apresentados possuem deficiências que geram perda de produção, atribuindo ênfase ao modo rodoviário que, por ser o mais utilizado, demanda maior necessidade de manutenção e ampliação de infraestrutura. Ou seja, defendem que a prevalência do modo rodoviário resulta na ineficiência do transporte de soja; com baixos investimentos em hidrovias e ferrovias. No bojo desta questão, houve diversas iniciativas governamentais de mitigação dos problemas ligados aos custos de transporte acumulados pela logística ineficiente, como o projeto Arco Amazônico, porção norte do chamado projeto Arco Norte, no bojo do Plano Nacional de Logística de Transportes – PNLTL (Brasil, 2012), consistindo em um conjunto de rotas logísticas no Brasil, centrada em investimentos viários e portuários na região Norte do país, visando facilitar o transporte de cargas produzidas na região Centro-Oeste e, em especial, a soja, para os portos da região Norte, no intuito de redução das distâncias e de custos de frete, propiciando alternativas de rotas de exportação em relação ao Sul e Sudeste do Brasil, onde atualmente se que concentram os maiores polos de exportações.

A preocupação com a logística de transporte em função dos custos atravessa os espaços da atividade de produção em termos de ações para reduzir o Custo-Brasil e, segue para a academia, onde se tem um início de pesquisas mais aprofundadas de casos, com emprego de métodos e técnicas quantitativas eficientes, em busca de soluções para aumentar a competitividade dos produtos brasileiros no mercado mundial. Os estudos, pelo que se observou empiricamente na literatura vigente, ainda são escassos, porém, intensificaram-se nos últimos anos. Retratou-se neste trabalho, em particular, as regiões Centro-Oeste e Norte brasileiras, seguida da explanação sobre as tipologias da revisão de literatura e, da aplicação da revisão bibliométrica, evidenciando através de um recorte temporal a ocorrência de produção científica, a intensidade e a interrelação com outros temas.

2.1 Revisões de Literatura

A pesquisa sobre um tema específico busca criar teorias, estabelecer evidências e resolver problemas, sendo fundamental que o pesquisador-autor tenha conhecimento do que a comunidade científica tem produzido, para que sua pesquisa seja acrescida de contribuições relevantes de conhecimentos, trazendo novas evidências e soluções, ou nova perspectiva de reflexão (Dorsa, 2020). A revisão da literatura é uma etapa crucial do processo de pesquisa e, consiste em localizar, examinar, resumir e interpretar pesquisas anteriores (revistas científicas, livros, atas de conferências, resumos e outros) relacionadas à área de estudo, sendo uma análise detalhada da literatura existente sobre o tema estudado, produtiva e eficiente, caso se tenha um conhecimento abrangente e aprofundado sobre a produção bibliográfica da temática analisada. De acordo com Kitchenham (2004), a revisão de literatura desempenha um papel importante na pesquisa, ao identificar a lacuna de conhecimento existente; ao fornecer uma base sólida para a pesquisa; ao evidenciar abordagens e métodos utilizados em pesquisas anteriores e; ao propor novas direções de pesquisas.

Os principais tipos de revisões de literatura frequentemente utilizados em produções científicas são:

- Revisões narrativas: consistem na sintetização e na análise crítica da literatura existente sobre um determinado tópico. Elas são mais flexíveis do que as revisões sistemáticas e integrativas, mas também são menos rigorosas (Nazareth, 2021);

- Revisões sistemáticas: neste tipo de revisão de literatura realiza-se um processo rigoroso de identificação, seleção, avaliação e síntese da literatura existente sobre um determinado tópico. Elas são frequentemente utilizadas em pesquisas que buscam identificar evidências para a tomada de decisões ou a implementação de intervenções (Rother, 2007);
- Revisões integrativas: são um tipo de revisão sistemática que combina a síntese dos resultados de estudos empíricos com a análise de dados qualitativos, como literaturas teóricas, relatos de casos e opiniões de especialistas. Elas são frequentemente utilizadas em pesquisas que buscam compreender a complexidade de um determinado tópico (Rodrigues; Neubert, 2023);
- Revisões bibliométricas: essas revisões são um tipo de revisão quantitativa que se concentra na análise de dados bibliométricos, como frequência de publicação, citações e redes de colaboração. Elas são frequentemente utilizadas para identificar tendências e padrões na produção científica (Chueke; Amattuci, 2022).

No que concerne o tema específico deste artigo, onde se aborda a otimização como o processo de se utilizar métodos computacionais para a obtenção da melhor maneira de se projetar e/ou operar um sistema (Morais, 2023), para melhoria de eficiência operacional e econômica, em se tratando da área de transportes, a otimização de rotas se torna um tema de alta relevância logística, cujo objetivo é de encontrar a melhor maneira de realizar deslocamentos entre diferentes pontos, levando em consideração diversos fatores como distância, tempo, custos e demais restrições. Diante disto, os métodos mais clássicos da otimização de roteamento encontrados na busca sistemática deste trabalho se fundamentam em abordagens determinísticas e probabilísticas:

- Algoritmos probabilísticos (Paz, 2022), os quais são caracterizados por apresentar uma resolução de problemas que incorpora elementos aleatórios em sua execução, fornecendo uma solução suficiente e aproximada da ótima. Neste contexto, se insere: o algoritmo genético que, de acordo com as pesquisas de Cruz (2022), modela o processo evolutivo, com uma população de soluções candidatas que evoluem ao longo de gerações até que se encontre a mais apta. Tem-se, também, o algoritmo da colônia de formigas, o qual se baseia no comportamento dos formigueiros, em termos de intercomunicação, para escolher e construir as melhores rotas (Silva; Menezes, 2022). Há o algoritmo de busca local, preconizado por Modesti (2022), e que parte de uma solução inicial, explorando o espaço de soluções vizinhas no intuito de encontrar melhorias internas. Pode-se, ainda, citar o algoritmo de enxame de partículas, que funciona explorando o espaço de busca de soluções, usando elementos aleatórios para guiar o processo de tomada de decisão por uma solução (Oliveira et al., 2022);
- No campo, ainda, dos casos mais tradicionais de modelagem, existem os algoritmos determinísticos, com sequência previsível e específica de passos, concluindo a análise da rede no objetivo de encontrar a melhor solução entre todas. Neste viés, destacam-se os modelos de programação linear e derivações híbridas destes com outros métodos, como com a lógica fuzzy, e que pode ser representado através de uma função objetivo mediante um conjunto de restrições (Rodrigues, 2021). Em contrapartida aos métodos determinísticos, tem-se os modelos de programação não-linear, que envolve a aleatoriedade das variáveis envolvidas e funções que devem ser maximizadas ou minimizadas, sujeitas a um conjunto de restrições, admitindo a variação dos dados segundo uma distribuição probabilística (Silva, Kwong e Cardoso, 2021). Por fim, não menos importantes, tem-se os métodos primos *Branch and Bound*, *Branch and Cut* e *Branch and Price* (Alegria, 2023), que consistem em dividir o problema em subproblemas para a exploração sistemática de cada nicho, com soluções comparativas para se obter a solução final.

Portanto, há um arcabouço significativo de técnicas, métodos e modelos disponíveis e utilizados em problemas logísticos de transporte. No Quadro 1 estão sintetizadas, preliminarmente, as referências obtidas neste trabalho, por meio de revisão sistemática, presente em artigos contidos em plataformas de acesso aberto, como o *Google Scholar*. Como pode se observar, foram encontrados trabalhos voltados para a modelagem matemática, ligados à otimização de processos, face a problemas complexos, com

métodos de busca linear ou não-linear, de forma heurística e multicritério. Mas, ainda foram poucos, daí ter recorrido à revisão bibliométrica.

2.2 Revisão Bibliométrica

Neste capítulo tem-se a apresentação da revisão bibliométrica apresentada em etapas. Em complementação, se expõe o *software VOSviewer*, que contribui na sistematização das informações em forma de mapas, facilitando a leitura dos resultados.

2.2.1 Bases Conceituais

Segundo Donthu *et al.* (2021), a utilização da revisão bibliométrica nas publicações científicas permite aos estudiosos a possibilidade de decifrar e mapear o conhecimento científico cumulativo, para entender e interpretar grandes quantidades de dados não estruturados de forma sistemática. Por conseguinte, a análise bibliométrica executada de forma satisfatória pode desencadear na consolidação de bases para o avanço de um campo específico em assuntos novos e significativos de diferentes formas.

No presente trabalho, a bibliometria foi escolhida por ser um método que aplica o uso de ferramentas tecnológicas direcionadas ao mapeamento de publicações científicas como, por exemplo, o uso do software bibliométrico *VOSviewer* e o acesso *online* de bancos de dados como *Scopus* e *Web of Science*, que auxiliam no levantamento de dados e na análise crítica dos estudos relacionados ao tema em que se norteia uma pesquisa. A revisão bibliométrica diverge em vários aspectos metodológicos da revisão bibliográfica tradicional. Esta última viabiliza uma visão ampla e generalizada sobre assuntos específicos, podendo incluir pesquisas de diferentes abordagens metodológicas, como as quantitativas, qualitativas e teóricas (Andrade, 2021). Por outro lado, a revisão bibliométrica é relevante no âmbito da reprodução de pesquisas com caráter quantitativo, pois viabiliza um delineamento preciso da área intelectual, evidenciando o crescimento do volume de produção sobre o tema em questão.

Quadro 1 – Métodos Usuais de Otimização

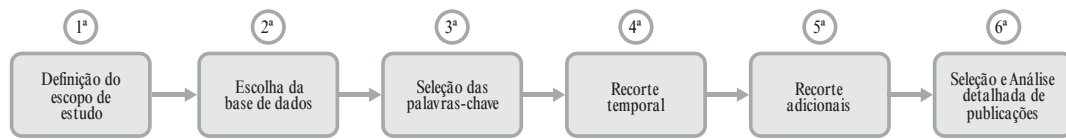
Referência	Conteúdo
ALDINO, A. A.; ULFA, M. Optimization of Lampung Batik Production Using the Simplex Method. <i>Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan</i> , v. 15, n. 2, p. 297-304, 2021. DOI: https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss2pp297-304	O método simplex é utilizado na otimização matemática sequencial para avaliar a melhor solução possível de um problema complexo, dada as determinadas condições operacionais e a quantidade de recursos.
FERREIRA, J. C.; STEINER, M. T. A. A New Approach to the Bi-objective Green Vehicle Routing Problem: Optimization in Newspaper Distribution. <i>Exacta</i> , v. 20, n. 4, p. 996-1023, 2022. DOI: https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18447	O Vehicle Routing Problem (VRP) tem como objetivo definir rotas entre o depósito e um determinado conjunto de clientes, minimizando o custo de transporte.
FONSECA, J. D. O. et al. Otimização de rotas de entregas de materiais em uma rede hospitalar por meio do algoritmo do problema do caixeiro viajante. <i>Revista de Gestão em Sistemas de Saúde</i> , v. 9, n. 2, p. 283-302, 2020. Disponível em: https://periodicos.uninove.br/revistargss/article/view/16570 . Acesso em: 24 jan. 2024.	O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um problema clássico de otimização combinatória que é intensamente investigado em matemática computacional devido sua vasta área de aplicação e a complexidade de obtenção de uma solução ideal.
YANNIS, G. et al. State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. <i>Journal of traffic and transportation engineering (English edition)</i> , v. 7, n. 4, p. 413-431, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005	A MCDA (Multi-criteria decision analysis) é um ramo da pesquisa operacional que auxilia a tomada de decisão. A partir de um conjunto de alternativas a serem escolhidas e um conjunto de critérios a serem avaliados, os métodos MCDA produzem um resultado de ordenamento ou seleção dessas alternativas.
PECADO, S. T. T.; PORTNOV, E. M. H.; BAIN, A. M. Using the Branch and Bound Method to Solve the Optimal Packaging Problem. In: 2023. <i>International Russian Automation Conference (RusAutoCon)</i> . IEEE, p. 786-790, 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/10272881 . Acesso em: 12 jan. 2024	O Método de Branch-and-bound baseia-se na ideia de uma enumeração inteligente das soluções candidatas a solução ótima inteira de um problema, efetuando sucessivas partições do espaço das soluções e cortando a árvore de pesquisa através da consideração de limites calculados ao longo da enumeração.
WOLFINGER, D.; GONZÁLEZ, J. J. S. The pickup and delivery problem with split loads and transshipments: A branch-and-cut solution approach. <i>European Journal of Operational Research</i> , v. 289, n. 2, p. 470-484, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.032	Em Algoritmos branch-and-cut são aplicados planos de corte no espaço de busca. O método consiste no estudo da estrutura de problemas combinatórios e representa uma ferramenta importante na construção de modelos eficientes de programação linear inteira.

Fonte: Sistematização dos autores, em revisão sistemática de literatura em base open access (2023).

Para realizar uma revisão bibliométrica, tem-se a sistematização da Figura 1 dos passos seguidos no

trabalho e retratados na sequência.

Figura 1– Etapas para realização de revisão bibliométrica



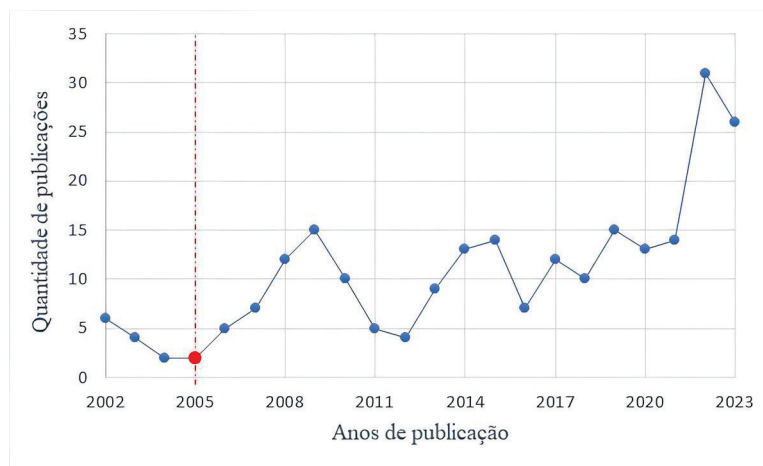
Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

- 1ª Etapa: Definição do escopo de estudo: o escopo define o que será incluído ou excluído da revisão. Este passo é imprescindível para o direcionamento da pesquisa, que caso seja realizado inadequadamente poderá acarretar uma análise inútil e, conseqüentemente, o desperdício de recursos relevantes que poderiam ser utilizados de forma mais eficiente. Os objetivos pretendidos para a produção científica em questão, também, são considerados na definição do escopo;
- 2ª Etapa: Escolha da base de dados: a escolha da base de dados é crucial e fica a cargo do pesquisador determinadas escolhas, considerando a disponibilidade e as ferramentas oferecidas. As bases mais populares, às quais se teve disponibilidade de pleno acesso com a credencial de universidade, são Scopus e Web of Science, cada uma com suas características. A Scopus, com mais de 16.000 periódicos, destaca-se pelos filtros que permitem um refinamento da busca. A Web of Science, composta por seis bancos de dados e mais de 34.000 periódicos, oferece uma visão multidisciplinar (Suela et al., 2021). Ressalta-se que, a depender de condições de acesso, outras bases poderiam ser utilizadas;
- 3ª Etapa: Seleção das palavras-chaves: A seleção das palavras-chave é uma etapa fundamental para o direcionamento da pesquisa e um resultado satisfatório. Para esta etapa, é necessário domínio do objetivo e lógica de pesquisa para a base de dados selecionada, bem como dos operadores booleanos empregados na mesma, para desenvolver a construção de uma estratégia robusta e eficaz para a recuperação de documentos relevantes. Tais elementos e ferramentas, oriundas da Ciência da Informação, viabilizam a execução de pesquisas precisas e eficientes. Os operadores booleanos assumem a função de conectivos entre os termos de busca, possibilitando a combinação dos mesmos de diversas maneiras, em consonância com o objetivo da pesquisa (Picalho et al., 2022). A Figura 2 mostra um exemplo de conjunto de palavras-chaves agrupados em clusters coloridos: “preservation”, “biodiversity” e “energy”, com operador booleano “AND”, resultante de uma pesquisa feita pelos autores, na base de dados Scopus e que abrangeu todos os tipos de publicações, encontrando-se 249 produções científicas, com representação no VOSviewer, destacando-se o cluster vermelho das palavras biodiversidade e desenvolvimento sustentável; temas bastante discutidos nas últimas décadas, em virtude das mudanças climáticas.

Com as palavras-chave definidas, pode-se recorrer às bases de dados, para se verificar os tipos de recorte que poderão surgir, representados no *VOSviewer*. Diversos tipos de recortes podem ser feitos e desmembrados em etapas posteriores. Para efeito deste trabalho, são descritas as etapas seguintes dos recortes selecionados; ou seja, o número de recortes está atrelado ao que se deseja em termos de resultados, sendo satisfatórios os enumerados a seguir. A Figura 3 mostra o número de estudos relacionados ao conjunto de palavras-chaves da terceira etapa, ao longo do tempo. Os dados foram elaborados a partir do resultado de busca nas bases de dados *Scopus*, que abrangeu os anos de 2002 a 2023. É possível observar que esse número cresceu significativamente a partir de 2005. Esse crescimento significativo justifica a escolha de 2005 como ponto de corte temporal para a análise bibliométrica, pois representa um marco quantitativo importante na evolução de estudos sobre o tema, obtendo-se como resultante a totalidade de 224 publicações.

- 4ª Etapa: **Recorte temporal:** nesta etapa pode-se identificar tendências na produção científica. Ao definir um recorte temporal adequado, o pesquisador pode obter informações mais precisas e relevantes sobre a produção científica a respeito de um determinado tema. Ao comparar o número de artigos publicados em diferentes períodos, o pesquisador pode identificar mudanças no

Figura 3 – Evolução dos números de publicações ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

- **6ª Etapa: Seleção e análise detalhada de publicações:** nesta etapa é realizada a análise em profundidade dos artigos selecionados, a fim de identificar quais artigos foram produzidos de acordo com o tema do estudo em questão. De modo geral, nesta fase da revisão, verifica-se os documentos através da leitura dos títulos e resumos das publicações e, após remover os artigos que fogem ao tema de busca, como também os duplicados, tem-se uma seleção final de publicações onde se aprofunda a leitura e análise documental para se determinar as contribuições efetivas de cada publicação para o avanço do conhecimento da temática e a respectiva área de ênfase. Também, a análise evidencia as lacunas de conhecimento,

2.2.2 O Software Vosviewer

O *VOSviewer* é um *software* especializado na elaboração de mapas com base em dados de redes e a visualização e exploração desses mapas, desempenhando papel crucial no mapeamento bibliométrico (Arruda *et al.* 2022). Este processo implica a escolha de uma plataforma para coleta de dados, onde palavras-chave e critérios de inclusão são definidos. O *VOSviewer* pode ser utilizado em qualquer conjunto de dados de redes e adota o método conhecido como VOS (*Visualization of Similarities*) para definir os nós e ligações de sua rede (Moreira *et al.*, 2020), permitindo uma representação visual da proximidade de objetos com alta similaridade.

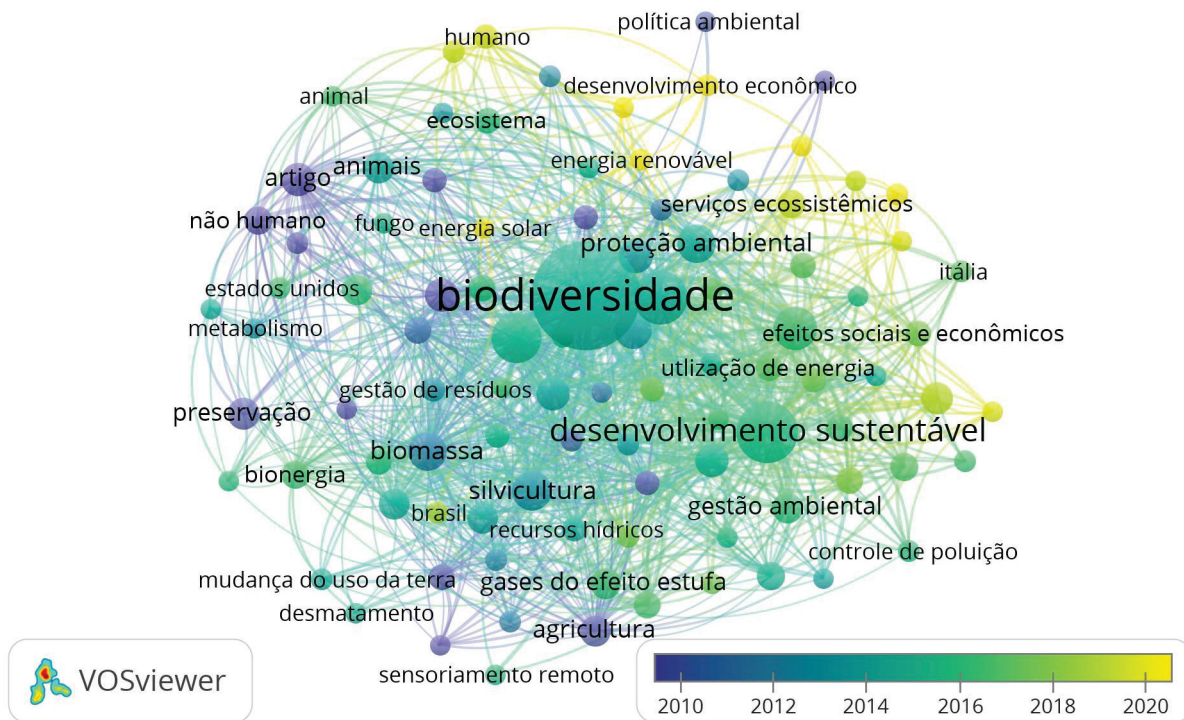
O software oferece três tipos de visualização para os mapas: de rede, de sobreposição e de densidade. De acordo com Van Eck e Waltman (2023), a visualização da rede apresenta os elementos por meio de um rótulo e um círculo, cujo tamanho reflete o peso associado a cada item. Além disso, as linhas entre os elementos simbolizam as conexões entre eles. Por outro lado, a rede de sobreposição assemelha-se à visualização de rede, exceto pelo fato de que os itens são diferenciados por outras cores, sendo o azul associado às pontuações mais baixas e o amarelo às pontuações mais altas. Por fim, na visualização de densidade, cada ponto que representa a densidade de um item é colorido de acordo com sua relevância, variando do azul ao amarelo conforme a frequência de menções, onde maior frequência se aproxima do amarelo e menor frequência se aproxima do azul. Partindo do exemplo da Figura 2, de palavras-chave adotadas e *clusters* obtidos, na Figura 4 tem-se um mapa de sobreposição destas palavras-chaves, em termos de citações em publicações ao longo dos anos.

3 RESULTADOS

Tem-se os resultados da revisão bibliométrica conduzida sobre a temática central do trabalho deste artigo. A análise dos artigos selecionados e a aplicação do software *VOSviewer* permitiram a extração de estudos relevantes e a construção de um panorama sistemático sobre o tema, ampliando o espectro de trabalhos sobre a temática. A revisão bibliométrica contemplou 199 artigos publicados entre 2009 e 2023, considerado este o ponto de recorte temporal, nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (vide

Figura 5). Em consonância com o delineamento das etapas de revisão bibliométrica apresentadas na Figura 1, os resultados de cada etapa da pesquisa são apresentados a seguir:

Figura 4 – Mapa de sobreposição



Fonte: Extraído do VOSviewer pelos autores (2023).

- **Definição do escopo de estudo:** esta etapa, com foco na sistematização e análise quantitativa de estudos sobre otimização de rotas logísticas de transporte, delimitou-se o tipo de tema e publicação a ser considerada, consistindo em artigos científicos publicados no mundo. A padronização inerente a este formato otimizou a análise dos resultados e a gestão dos recursos disponíveis. Ao delinear o escopo do presente trabalho, definiu-se a utilização do software VOSviewer para a análise dos resultados coletados, com o objetivo de mapear e interpretar as relações entre autores, palavras-chave e temas presentes na literatura selecionada;
- **Escolha da base de dados:** na Tabela 1, é possível observar os resultados quantitativos obtidos nas bases de dados Scopus e Web of Science, ambas as plataformas de ampla abrangência científica, tradicionalmente, fontes de pesquisa bibliográfica, tendo sido acessadas pelo portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com credencial da universidade. A combinação das duas bases de dados possibilitou a ampliação e a cobertura temática, aumentando a probabilidade de identificação de estudos relevantes;

Tabela 1 – Resultados da etapa de seleção de base de dados

Critérios de elegibilidade	Scopus	Web of Science	Total indexado
Quantidade de periódicos	16.000	34.000	50.000
Materiais envolvendo as palavras chaves transporte, logística, grão e soja	168	129	297
Limitado ao período (2009-2023)	147	119	266
Artigos selecionados	11	14	25

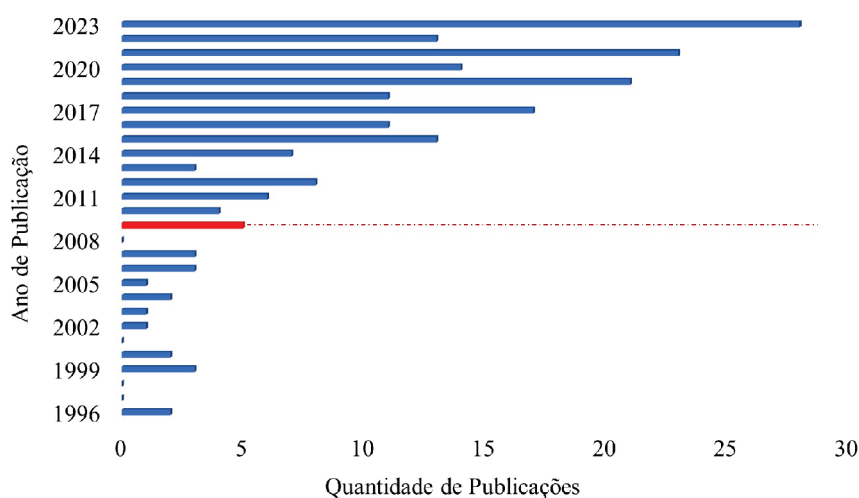
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos resultados da revisão bibliométrica (2023).

- **Seleção das palavras-chaves:** inicialmente, foi realizada a deliberação sobre quais palavras-chaves seriam utilizadas na pesquisa, sendo realizada uma busca de forma aleatória nas duas bases de dados, e se observou que quanto mais termos eram utilizados na pesqui-

sa mais limitada a quantidade de resultados. Ao empregar simultaneamente os termos “*optimization*”, “*transport*” e “*soybean*” na pesquisa inicial, constatou-se que a utilização do termo “*optimization*” direcionou os resultados para as áreas de Ciência de Materiais e Ciências Agrárias e Biológicas, com ênfase em produções científicas internacionais. A definição da estratégia de busca para a presente pesquisa envolveu a seleção criteriosa dos seguintes termos de pesquisa: “*transport*”, “*logistic*”, “*grain*” e “*soybean*”. O operador *booleano* “*AND*” foi estrategicamente utilizado para combinar os três primeiros termos, assegurando a recuperação de documentos que abordassem os conceitos de forma interligada e precisa. O operador “*OR*” foi aplicado entre os dois últimos termos (“*grain*” e “*soybean*”) com o objetivo de abranger as diferentes conotações presentes nos estudos sobre soja. A pesquisa identificou 297 publicações;

- **Recorte temporal:** a busca simultânea nas duas bases de dados abrangeu o período de 1995, ano da primeira publicação registrada em ambas as plataformas, até o ano de 2023. A Figura 5 ilustra a evolução do número de estudos relacionados ao tema ao longo desse período. A partir de 2009, a área de estudo em questão vivenciou um período de crescimento em sua produção científica, conforme evidenciado por análises quantitativas. É importante destacar que, há oscilações entre a quantidade de publicações ao longo dos anos, porém, em virtude da curvatura crescente relativa ao número de pesquisas em relação aos anos anteriores, o ano de 2009 foi selecionado como marco temporal para a pesquisa, delimitando o período de análise, permitindo uma investigação mais aprofundada do crescimento da área, resultando em 266 publicações (86,6% do total).

Figura 5 – Publicações por ano



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos resultados da revisão bibliométrica (2023).

- **Análise da produção científica:** nesta etapa da investigação, a análise foi deliberadamente circunscrita a artigos científicos, resultando um total de 184 artigos (61,9%). Uma análise criteriosa dos títulos e resumos destes artigos foi realizada, com o objetivo de identificar aqueles que abordavam especificamente modelos, métodos e estratégias para soluções logísticas no transporte da soja e, após a exclusão de duplicatas presentes em ambas as bases de dados, chegou-se a um conjunto de resultados. A análise detalhada das publicações resultou em um total de 25 artigos considerados pertinentes, dos quais 52% (13 artigos), apresentados nos Quadros 2 e 3, foram escritos por autores internacionais, e 48% (12 artigos) dos artigos, apresentados nos Quadros 4 e 5, foram escritos por autores nacionais.

- Literatura de autoria internacional: os Quadros 2 e 3 apresentam um resumo conciso, subdividido nos seguintes grupos de estudos encontrados em termos de otimização de rotas, respectivamente: sete artigos logísticos e, de forma mais específica, seis artigos de modelagem e análise

de dados para redução de custos;

- b) Literatura de autoria nacional: cerca de 12 artigos de autoria brasileira foram obtidos. A descrição do conteúdo desses artigos encontra-se de forma concisa nos Quadros 4 e 5, organizados e subdivididos de acordo com a natureza dominante de cada contribuição apresentada, subdividindo-se em dois grandes grupos de estudos, respectivamente: modelagem e otimização de transporte e, de abordagem de redução de custos e sustentabilidade.

Quadro 2 – Estudos logísticos

Referências	Conteúdo
JI, L. <i>et al.</i> Review, Latest Progress, and Future Direction of Grain Logistics Development in China. Sciences and Technology of Cereals, Oils and Foods , v. 31, p. 197-203, 2023. DOI: https://doi.org/10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.05.023	-Propostas de planos para modernizar e otimizar a logística de grãos.
WANG, X. <i>et al.</i> Application of Entropy Weight Method in Planning and Layout of Grain Logistics Nodes in the New Era -Take the Coastal Channel as an Example. Sciences and Technology of Cereals, Oils and Foods , v. 30, p. 23-27, 2022. DOI: https://doi.org/10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.04.004	-Recomendações para melhoria da infraestrutura. -Otimização do layout de nós logísticos.
RUDYK, Y.; BUBELA, T.; MACIUK, K. Russia-Ukraine war: transport and logistics support for grain supply chain in regional food safety. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport , v. 119, p. 223-233, 2023. DOI: https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.119.13	-Métodos de avaliação de segurança do transporte através da realidade do conflito Rússia-Ucrânia.
NEKRASENKO, L. <i>et al.</i> Grain logistics in Ukraine: the main challenges and effective ways to reach sustainability. Economic Annals-XXI , v. 178, p. 70-83, 2019. DOI: https://doi.org/10.21003/ea.V178-06	-Viabilização de novas rotas de exportação em uma cadeia de abastecimento através de transporte intermodal.
KOZACHENKO, D. <i>et al.</i> Resource-saving technologies of railway transportation of grain freights for export. Archives of Transport , v. 45, n. 1, p. 63-74, 2018. DOI: https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.0944	-Métodos alternativos de entrega dos produtos grãos nos locais de armazenamento e venda
DANAO, M. C.; ZANDONADI, R. S.; GATES, R. S. Development of a grain monitoring probe to measure temperature, relative humidity, carbon dioxide levels and logistical information during handling and transportation of soybeans. Computers and Electronics in Agriculture , v. 119, p. 74-82, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.008	Projeto de instrumentação para registrar condições e logística de grãos durante o transporte rodoviário curto.
DA SILVA, V. P. <i>et al.</i> Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. Journal of Environmental Management , v. 91, n. 9, p. 1831-1839, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.001	Melhorias na logística dos transportes, para contribuir para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e para a diminuição da utilização de energia

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos resultados da revisão bibliométrica (2023).

Quadro 3 – Modelagem e análise de dados para redução de custos

Referências	Conteúdo
LIU, X.; BAI, Y.; CHEN, J. An intermodal transportation geospatial network modeling for containerized soybean shipping. Journal of Ocean Engineering and Science , v. 2, n. 2, p. 143-153, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joes.2017.05.001	Modelagem de dados de custos de transporte para analisar rotas de eficiência.
VICTORIA, D. C. <i>et al.</i> Transport cost to port through Brazilian federal roads network: Dataset for years 2000, 2005, 2010 and 2017. Data in Brief , v. 36, p. 107070, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107070	- Exploração dos pontos logísticos centrais do transporte multimodal e a utilização de dados para estimar o custo comparativo do transporte.
AYALA, E. <i>et al.</i> Alternativas logísticas para el transporte de granos. Revista Transporte y Territorio , n. 21, p. 140-163, 2019. DOI: https://doi.org/10.34096/rtt.i21.7150	-Gestão de custos logísticos através da abordagem de otimização de custos de combustível.
GAO, T.; EROKHIN, V.; ARSKIY, A. Dynamic optimization of fuel and logistics costs as a tool in pursuing economic sustainability of a farm. Sustainability , v. 11, n. 19, p. 5463, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/su11195463	
SOUZA, M. F. <i>et al.</i> Port regionalization for agricultural commodities: mapping exporting port hinterlands. Journal of Transport Geography , v. 106, p. 103506, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103506	
PETROV, M.B.; TURYGIN, O. M. Increase of transport-logistic servicing efficiency of Sverdlovsk region's agroindustrial complex (on the example of grain cargoes transportation). Ekonomika Regiona= Economy of Regions , n. 4, p. 68, 2011. Disponível em: https://www.proquest.com/openview/dbb78ee641cd822ddb9924cc53cb464/1?pqorigsite=gscholar&cbl=5002427 . Acesso em: 07 jan. 2024.	Análise comparativa dos custos de importação de cargas de grãos utilizando diversos modais de transporte

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos resultados da revisão bibliométrica (2023).

Recorrendo, em seguida, para representação dos dados no *Vosviewer*, no que tange a elaboração do mapa bibliométrico, cada entrada exportada incluiu informações abrangentes sobre cada artigo: título, autores, afiliação, palavras-chave e todas as citações pertinentes. Na análise bibliométrica, cada círculo representa uma palavra-chave, enquanto cada cor de grupo indica que essas palavras-chave compartilham o mesmo *cluster*, denotando uma maior inter-relação e frequência em uma área específica. A investigação da co-ocorrência de palavras-chave foi conduzida com o propósito de visualizar as interconexões entre os artigos e suas interpretações subjacentes.

O resultado do mapeamento revelou a presença de 191 palavras-chave e 169 ocorrências agrupadas em oito *clusters* distintos (Figura 6). Um critério mínimo de uma ocorrência foi adotado para inclusão. O *Cluster 1*, identificado pela cor vermelha, compreendeu 43 elementos, destacando-se a palavra “acidificação” e incluiu, também, termos como “ciclo de vida”. O *Cluster 2*, representado pela cor verde, abarcou 32 elementos e incorporou termos como “dióxido de carbono”, “colheita” e “análise econômica”. O *Cluster 3*, distinguido pela cor azul, englobou 25 elementos, incluindo, “análise de agrupamento”, “rotas de transporte”, “otimização multiobjetivo” e “eficiência”. Na Figura 6, tem-se uma análise de rede sobre a co-ocorrência de termos nos 25 artigos obtidos e selecionados para análise.

O *Cluster 4*, designado pela cor amarela, consistiu em 24 elementos notáveis, como “transportação”, “semente de soja”, e “otimização”. O *Cluster 5*, de cor lilás, compreendeu 15 elementos, destacando-se “bacia logística” e “desmatamento”. O *Cluster 6*, caracterizado pela cor azul claro, apresentou um total de 14 elementos com foco especial em “logística agrícola” e “transporte de alimentos”. No *Cluster 7*, representado pela cor laranja, com 13 itens, mostrou a relevância das palavras “logística” e “soja”, enquanto no *Cluster 8*, de cor marrom, apresentou somente os itens “brasil”, “modelo de loop causal” e “pensamento sistêmico”.

Quadro 4 – Modelagem e otimização de transporte

Referência	Conteúdo
DO AMARAL, M.; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. Gestão & Produção , v. 19, n. 4, p. 717-732, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000400005	
DE OLIVEIRA, A. L. R. <i>et al.</i> Logistical transportation routes optimization for Brazilian soybean: an application of the origin-destination matrix. Ciência Rural , v. 51, n. 2, p. e20190786, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190786	Desenvolvimento de modelos matemáticos e ferramentas para otimização do transporte de soja. Melhorias no fluxo logístico através de modelagem matemática. Aprimoramento do conhecimento sobre a logística da soja, com a análise de dados e a identificação de gargalos na cadeia produtiva. Alternativas intermodais de transporte. Contribuições teóricas ao estudo de terminais intermodais de transbordo de grãos.
GUIMARÃES, V. A. <i>et al.</i> Strategic planning of freight transportation to support smart cities design: The Brazilian soybean case. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia , n. 98, p. 104-116, 2021. DOI: https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200583	
FILASSI, M. <i>et al.</i> Analyzing complexities in the Brazilian soybean supply chain: a system thinking and modeling approach. RAUSP Management Journal , v. 57, p. 280-297, 2022. DOI: https://doi.org/10.1108/RAUSP-03-2021-0053	
LANDIVAR, C. G. P.; SPROESSER, R. L.; PEREIRA, M. W. G. Determinantes da eficiência dos terminais intermodais dos corredores logísticos de grãos do Brasil. Revista ESPACIOS , v. 35, n. 8, 2014. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a14v35n08/14350814.html Acesso em: 07 jan. 2024.	
MASCARENHAS, C. S. <i>et al.</i> Avaliação da rede de armazenagem para a soja do Estado do Mato Grosso: aplicação de um modelo de localização. Revista ESPACIOS , v. 35, n. 11, 2014. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351123.html . Acesso em: 07 jan. 2024.	
MILANEZ, A. P. <i>et al.</i> Otimização da exportação da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de design de rede. Revista ESPACIOS , v. 37, n. 35, 2016. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a16v37n35/16373523.html . Acesso em: 07 jan. 2024.	Apoio à tomada de decisões mais eficientes na gestão da cadeia logística da soja. Os artigos analisam diferentes elos da cadeia de valor da soja, desde a armazenagem até a exportação.
LOPES, H. S. <i>et al.</i> Scenario analysis of Brazilian soybean exports via discrete event simulation applied to soybean transportation: The case of Mato Grosso State. Research in Transportation Business & Management , v. 25, p. 66-75, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.09.002	

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa (2023).

Convém ressaltar que, o mapa de rede proporciona uma visão significativa sobre as principais temáticas e inter-relações presentes nos artigos desse estudo. Observa-se que os termos “logística” e “rotas de transporte” assumem uma posição mais centralizada no mapa. Além disso, é pertinente notar que os termos “transportação” e “soja”, também, emergem como elementos de foco do mapa, indicando sua relevância temática. Destaca-se, ainda, o termo “otimização” que, embora não tenha sido inicialmente incluído como palavra-chave na busca dos artigos, demonstra uma conexão significativa com o tema abordado.

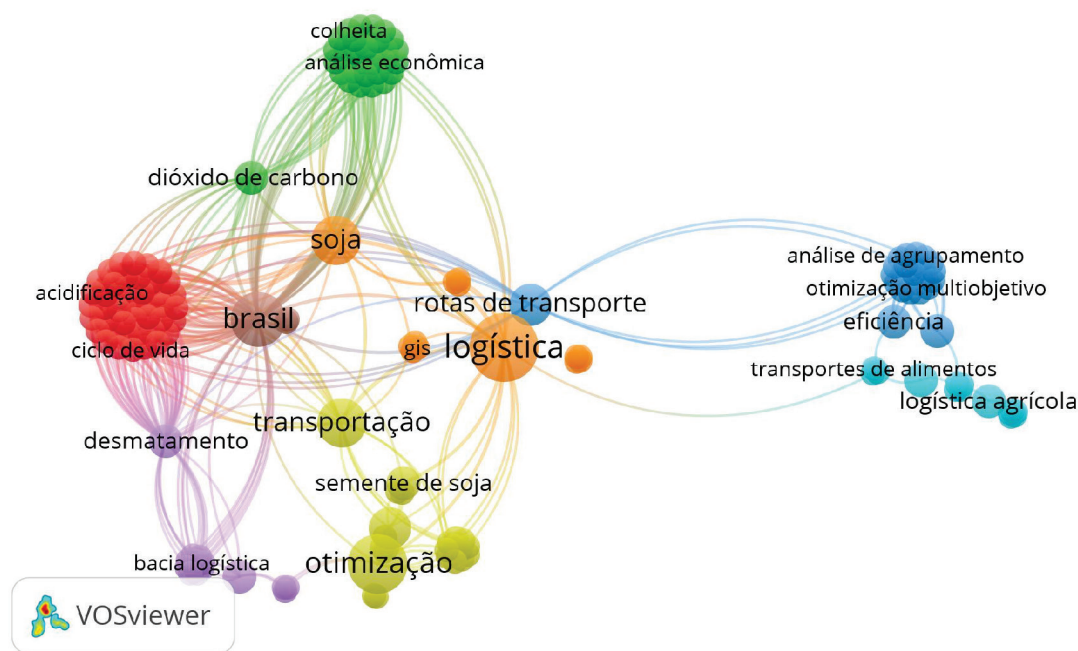
As visualizações de sobreposição, apresentadas na Figura 7, foram empregadas para elucidar a evolução ao longo do tempo. Neste contexto, observa-se um aumento no debate sobre questões como a localização e o planejamento estratégico para as exportações de grãos realizadas, como evidenciado pelos títulos dos trabalhos.

Quadro 5 – Abordagem de redução de custos e sustentabilidade

Referências	Conteúdo
LOPES, H. S.; LIMA, R. S.; FERREIRA, R. C. A cost optimization model of transportation routes to export the Brazilian soybean. <i>Custos e Agronegócio Online</i> , v. 12, n. 4, p. 90-109, 2016. Disponível em: http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v12/OK%205%20optimization.pdf . Acesso em: 24 jan. 2024.	Quantificação dos impactos econômicos de diferentes decisões estratégicas, como a contratação de transporte antecipado e a escolha de locais de armazenamento.
GUIMARÃES, V. A. <i>et al.</i> A Location-Allocation Model for Logistics Integration Centers Subjected to Peer-to-Peer Demands: A Case Study of Soybean Transportation in Brazil. In: European Transport Conference. <i>Association for European Transport (AET)</i> , 2015. Disponível em: https://trid.trb.org/View/1371991 . Acesso em: 24 jan. 2024.	Modelo de alocação de localização para centros de integração logística (LICs), que pode ajudar a reduzir os custos de transporte e melhorar a eficiência da rede logística da soja.
PLAZA, C. V. <i>et al.</i> Economic and environmental location of logistics integration centers: The Brazilian soybean transportation case. <i>Top</i> , v. 28, n. 3, p. 749-771, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11750-020-00566-x	Redução das emissões de gases de efeito estufa (CO2), por meio da otimização das rotas e do consumo de combustíveis, auxiliando na tomada de decisões para um sistema logístico mais eficiente e sustentável.
DE MORAIS, G. R. <i>et al.</i> A sustainable location model of transshipment terminals applied to the expansion strategies of the soybean intermodal transport network in the state of Mato Grosso, Brazil. <i>Sustainability</i> , v. 15, n. 2, p. 1063, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su15021063	

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa (2023).

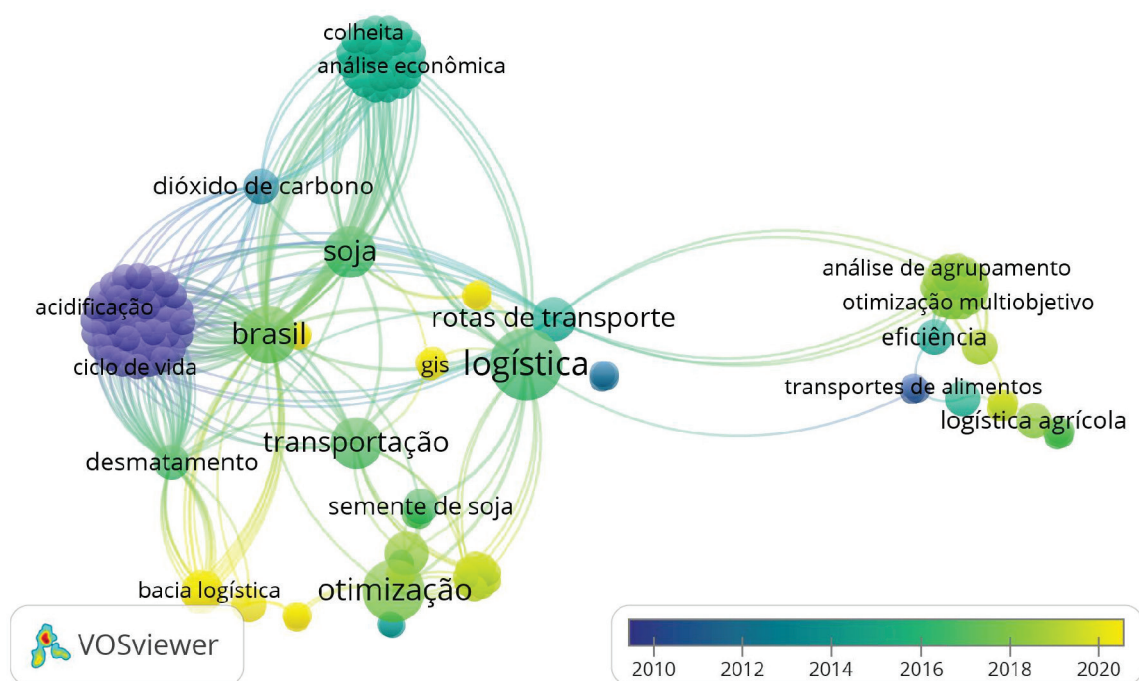
Figura 6 – Mapa de rede



Fonte: Extraído do VOSviewer pelos autores (2023).

A produção científica de artigos obtida e analisada evidencia que estão sendo mais abordados aspectos operacionais do transporte de soja, ligados à cadeia de abastecimento e suprimento de grãos, em busca de otimização de custos para a eficiência, relacionando-se os Quadros 2 e 3 à Figura 6. Em termos de modelagem, os estudos encontram-se bastante centrados em variáveis quantitativas de banco de dados institucionais, e menos da percepção dos atores envolvidos. Quanto ao recorte temporal, pode-se observar que as contribuições sobre a otimização de rotas logísticas se intensificaram nos últimos anos, mais precisamente, no mundo a partir da década de 1990 e, no Brasil, a partir da década de 2000 (vide Figura 5). Por outro lado, há carência de estudos ligados à otimização de rotas de transporte, envolvendo custos generalizados, incorporando questões sociopolíticas, de desenvolvimento regional, ambiental, e outras variáveis, além da admissibilidade de alterações de cenários, com caráter probabilístico de situações.

Figura 7 – Mapa de sobreposição



Fonte: Extraído do VOSviewer pelos autores, 2023.

Ainda, na Figura 6, pode-se observar que o tema otimização de rotas tem ligações importantes com o *cluster* 1, ligados à estudos de manejo, impacto ambiental, com o *cluster* 2, corroborado pelas mudanças climáticas e, com o *cluster* 3, ligado às análises de cadeias logísticas e rotas de transporte, compatível com os estudos apresentados no Quadro 4. Na Figura 7, é possível observar o mapa de sobreposição que destaca mudanças significativas referente aos artigos publicados ao longo dos anos. A partir de 2018, surgiram temáticas tais como de planejamento estratégico e de questões relacionadas à localização que impactam as exportações. Esta evolução nos tópicos abordados parece refletir dinâmicas transformacionais observadas no contexto global, além de mostrar uma redefinição nas prioridades estratégicas das organizações pertinentes aos artigos analisados, aparente no Quadro 5.

4 CONCLUSÕES

O trabalho mostrou um arcabouço de produções científicas, nas bases *Scopus e Web of Science*, evidenciando de forma qualitativa e quantitativa o estado da arte dos trabalhos relacionados com a logística de soja para o caso brasileiro. Em termos de objetivo, esteve direcionado para artigos nacionais e internacionais relacionados a estudos sobre otimização ou busca de eficiência de rotas logísticas de transportes, no âmbito do agronegócio da soja do centro-oeste brasileiro, resultando em 25 artigos. A revisão bibliométrica se mostrou adequada aos objetivos do trabalho, evidenciando contribuições

importantes para o avanço de pesquisas ligadas à temática e apresentando, também, lacunas de um território que precisa ser explorado, como sugestão de estudos futuros. Por outro lado, ressalta-se que, a revisão bibliométrica é bastante sensível em resultados, a depender das palavras-chave adotadas, o seja, o referido trabalho poderá ser replicado e alargado para explorar outras terminologias, de acordo com a necessidade da investigação a que for submetida. Por fim, como resultados práticos, conclui-se que há uma produção científica centrada em aspectos operacionais do transporte de soja, em detrimento a outros aspectos de modelagem e questões sociopolíticas e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FNDCT/CNPQ/MCT do Brasil pelo suporte financeiro à pesquisa ArcLog Norte/UFPA, ao Programa PIBIC/UFPA e, ao apoio institucional das universidades colaboradoras, IFPA/UFABC/UFG do Brasil e da UMinho-PT; bem como das empresas colaboradoras, tornando-se de forma conjunta viável esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALEGRIA, D. I. V. **Otimização das rotas de recolha e entrega de bicicletas partilhadas em Lisboa**. 2023. Tese (Mestrado em Estatística e Investigação Operacional) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/61479>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ALVES, M. C. **Custo Amazônico: os desafios para empreender na região mais verde do Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Sociais, Universidade Federal do Amazonas, 2023. Disponível em: <https://www.rii.ufam.edu.br/handle/prefix/6744>. Acesso em: 07 jan. 2024.

ANDRADE, M. C. R. O papel das revisões de literatura na produção e síntese do conhecimento científico em Psicologia. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, Belo Horizonte, v. 14, p. 1-5, 2021. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-82202021000300001. Acesso em: 12 jan. 2024.

ARRUDA, H. et al. VOSviewer and Bibliometrix. **Journal of the Medical Library Association: JMLA**, v. 110, n. 3, p. 392-395, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9782747/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes. **Plano Nacional de Logística e Transporte**: relatório final. Brasília, 2012.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. Métodos de sistematização de literatura em estudos científicos: bibliometria, meta-análise e revisão sistemática. **Internext**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 284-292, 2022. Disponível em: <https://internext.espm.br/internext/article/view/704>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 10, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 28 jun. 2024

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 11, n. 9, nono levantamento, junho 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 26 jun. 2024

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2023/24)**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 25 jun. 2024.

CRUZ, W. L. **Algoritmo genético para otimizar trajetos de delivery**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2939>. Acesso em: 24 jan. 2024.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of business research**, v. 133, p. 285-296, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296321003155>. Acesso em: 12 jan. 2024.

DORSA, A. C. O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos. **Interações**, Campo Grande. v. 21, n. 4, p. 681-683, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/ctsj4sLz6CkZYQ-fZWBS4Lbr/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

FARO, K. C.; SEIBERT, C. E.; LEÃO, L. Estrutura de governança da cadeia produtiva da soja em Mato Grosso: Uma abordagem a partir do insumo-produto. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 2023. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2023. Disponível em: <https://brsa.org.br/wp-content/uploads/wpcf7-submissions/16266/Enaber-2023-Gov-Cadeia-Soja-IP-com-identificacao.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

FATORETTO, S. L. R.; OLIVEIRA, A. L. R. A eficiência logística das rotas de exportação de soja: um indicador baseado na Análise Envoltória de Dados (DEA). **Agrarian**, Campinas, v. 12, n. 45, p. 383–398, 2019. Disponível em: <https://www.feagri.unicamp.br/logicom/artigos/119-a-eficiencia-logistica-das-rotas-de-exportacao-de-soja-um-indicador-baseado-na-analise-envoltoria-de-dados-dea>. Acesso em: 15 jan. 2024.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=29890a936639862f45cb9a987dd599dce9759bf5>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MATOS, F. S. S. et al. Análise do escoamento da soja no estado de Mato Grosso do Sul: Perspectiva do corredor bioceânico. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista – SP, v. 10, n. 16, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24605>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MODESTI, D. Algoritmo de otimização global baseado em estratégias de reinício aplicado a problemas com variáveis discretas e mistas. **Repositório Institucional da UFSC**, Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/242612>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MORAIS, G. R. **Contribuição de um modelo sustentável de otimização e de simulação em rede Petri P-Temporizada nas estratégias de expansão da rede intermodal de transporte de soja do estado do Mato Grosso**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/58995>. Acesso em: 24 jan. 2024.

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? um estudo comparativo entre softwares. **P2P E INOVAÇÃO**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 140–158, 2020. Disponível em: <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/5098>. Acesso em: 12 jan. 2024.

NASCIMENTO, D. Balança Comercial do Agronegócio – outubro/2023. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-em-outubro-foram-de-us-13-38-bilhoes>. Acesso em: 30 jun. 2024.

NASCIMENTO, R. A. Implementação de um algoritmo para solução do caminho de custo mínimo na logística aplicada ao transporte rodoviário de soja do estado de Mato Grosso. **Brazilian Journal of Business**, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 3128–3141, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/16916>. Acesso em: 15 jan. 2024.

NAZARETH, C. C. J. Revisão de literatura e revisão sistemática: uma análise objetiva. **Revista Fluminense de Odontologia**, Niterói, v. 1, n. 55, p. 39-47, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/ijosd/article/view/43132>. Acesso em: 12 jan.2024.

NETO, T. O.; NOGUEIRA, R. Circulação do transporte de commodities agrícolas na Amazônia. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 19, p. 74-105, 2020. Disponível em: <https://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2020.19.004>. Acesso em: 07 jan. 2024.

OLIVEIRA, E. M. C. S. et al. Otimização por enxame de partículas aplicada ao projeto de uma SM-PMSM. **Sociedade Brasileira de Automática**, v. 3, n. 1, p. 829-835, 2022. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/3288. Acesso em: 24 jan. 2024.

PASTRE, R. Plano de desenvolvimento regional BR-163 sustentável: Avaliação das repercussões das ações estratégicas em infraestrutura sobre o norte do Mato Grosso. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 7, n. 1, p. 5–34, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/16706>. Acesso em: 07 jan. 2024.

PAZ, F. A. **Planejamento de rotas veiculares e otimização de mobilidade urbana utilizando algoritmo bioinspirado e paralelo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão, 2022. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/18320>. Acesso em: 24 jan. 2024.

PICALHO, A. C.; OLIVEIRA LUCAS, E. R.; AMORIM, I. S. Lógica booleana aplicada na construção de expressões de busca. **AtoZ: Novas Práticas em Informação e Conhecimento**, v. 11, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/atoz/article/view/81838>. Acesso em: 12 jan. 2024.

RODRIGUES, M. O. **Problema do Caixeiro Viajante aplicado em rota de entrega aérea e solucionado por meio da Programação Linear**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/793>. Acesso em: 24 jan. 2024.

RODRIGUES, R. S.; NEUBERT, P. S. **Introdução à pesquisa bibliográfica**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rosangela-Rodrigues/publication/373506797_Introducao_a_pesquisa_bibliografica/links/655c8dc6b1398a779da39855/Introducao-a-pesquisa-bibliografica.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X Revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ape/a/z7zZ4Z4GwYV6FR7S9FHTByr/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SILVA, A. J. A. **Algoritmo de colônia de formigas aplicado ao problema do caixeiro viajante: estudo de caso**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/6d8bf396-d8a1-40fc-814f-3e7ac216ba61>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SILVA, A. S.; TOBIAS, M. S. G.; ROCHA, M. P. C. Arco Norte corridor viability: literature review and research perspectives in Brazil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 10, pág. 66224–66247, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/52861>. Acesso em: 07 jan. 2024.

SILVA, B. K.; KWONG, W. H.; CARDOSO, A. O. Otimização de processos químicos industriais: Avaliação da eficácia do software livre Scilab na resolução de problemas de programação não-linear com restrições. **Research, Society and Development**, v. 9, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17866>. Acesso em: 24 jan. 2024.

SOUZA, M. M. **Otimização de rotas de escoamento do estado do Mato Grosso através do Arco Norte**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_8680d6ee0a18bea38c915b000883e84. Acesso em: 15 jan. 2024.

SUELA, S. C.; MORETO, E. R.; FREITAS, R.R. Bibliometria e seus Métodos de Pesquisa: Um Estudo nas Bases de Dados Scopus e Web of Science. **Revista FSA**, Teresina, v. 18, n. 6, p. 151-168, 2021. Disponível em: <http://www4.unifsa.com.br/revista/index.php/fsa/article/view/2302>. Acesso em: 12 jan. 2024.

VAIKNORAS, K.; HUBBS, T. Characteristics and trends of U.S. soybean production practices, costs, and returns since 2002 (Report No. ERR-316). **U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service**, 2023. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=106620>. Acesso em: 07 jan. 24

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Manual for VOSviewer**, version 1 .6.19, 2023. Disponível em: https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

ENERGY PERFORMANCE OF DISTRIBUTED GENERATION EXPANSION IN PUBLIC HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: A CASE STUDY OF THE FEDERAL INSTITUTE OF EDUCATION, SCIENCE, AND TECHNOLOGY OF PIAUÍ, BRAZIL

Desempenho Energético da Expansão da Geração Distribuída em Instituições Públicas de Ensino Superior Públicas: Estudo de Caso do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do 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, Centro, Teresina-PI, CEP: 64000-040. osvaldo.augusto@ifpi.edu.br

Fabrcio Higo Monturil de Moraes

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, Centro, Teresina-PI, CEP: 64000-040. fabrcio@ifpi.edu.br

Fernando Rodrigues Ribeiro

Electrical engineer. Specialist in Environment and Safety Engineering, Federal Institute of Science and Technology of Piauí, Rectory, Office of Electrical Projects and Building Maintenance, Av. Presidente Jânio Quadros, 330, Santa Isabel, Teresina-PI, CEP: 64053-390. fernando.rodrigues@ifpi.edu.br

Cristiana de Sousa Leite

Electrical Engineer. PhD in Development and Environment, Federal University of Piauí, Ministro Petrônio Portela Campus, University Town Hall, Ininga, Teresina - PI, CEP: 64049-550. cristiana.leite@ufpi.edu.br

Resumo: A Geração Distribuída nas Instituições Públicas de Ensino Superior sofreu grande expansão a partir de 2020, assim, este artigo tem por objetivo avaliar o desempenho energético dessa expansão. Para tanto, inicialmente, avaliou-se a inserção da geração distribuída no poder público e, utilizando-se como objeto de estudo o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, caracterizou-se a expansão da Geração Distribuída dessas instituições, por meio de indicadores técnicos, econômicos e ambientais. Embora se tenha constatado o crescimento da potência de Geração Distribuída nesse setor, percebeu-se baixa representatividade desses sistemas na matriz de geração distribuída. A expansão mostrou-se viável e verificou-se a melhoria dos indicadores técnico-econômicos dos sistemas, o aumento da eficiência e da potência média dos inversores e módulos fotovoltaicos, além da simplificação dos arranjos. Entretanto, apenas metade dos sistemas inicialmente contratados foram comissionados e a instalação não respeitou critérios técnicos na escolha da localização e dos equipamentos, indicando-se que deve ocorrer a melhoria desses aspectos para a garantia da sua eficiência. Por fim, verificou-se que a expansão continua e que a metodologia utilizada se mostrou aplicável a outras instituições, fornecendo orientações para a contratação dos novos sistemas.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico; Índices de Mérito; Poder público; Gestão energética.

Abstract: Distributed generation (DG) has experienced significant expansion in Brazilian public higher education institutions (HEIs) since 2020. Thus, this article aims to evaluate the energy performance of facilities involved in this scenario. Initially, the integration of DG into the public sector was assessed. Considering the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Piauí (IFPI) as a case study, the expansion of DG is characterized through technical, economic, and environmental indicators. Although an increase is observed in DG capacity in this sector, there is a low representation of such systems in the DG energy mix. The expansion proved to be feasible, resulting in improved technical and economic indicators of the systems, increased efficiency and average power ratings of inverters and photovoltaic (PV) modules, as well as the simplification of arrangements. However, only half of the initially contracted systems were commissioned. The installation did not comply with technical criteria in the selection of location and equipment as well, thus denoting the need for improving such issues to ensure higher efficiency. Finally, it was found that the expansion continues to the date, whereas the used methodology was found to be applicable to other institutions, providing guidance for the procurement of new systems.

Keywords: Photovoltaic Systems; Figures of Merit; Public Institutions; Energy Management.

1 INTRODUCTION

Universalizing access to reliable, renewable and affordable energy is one of the commitments of the global cooperation agreement undertaken by Brazil as a 2030 Agenda signatory. In this context, given the high levels of solar radiation in the country and, since the regulation of distributed generation in 2012, photovoltaic systems have been experiencing exponential growth, characterizing themselves as strategic in this context.

Approximately one quarter of the country's electricity is consumed by the commercial sector, which includes Higher Education Institutions (HEI). Characterized as non-residential buildings, these institutions experienced significant geographic expansion in the 1960s and, more recently, since 2007, Federal Higher Education Institutions have experienced significant expansion as a result of government programs that, above all, aimed at their restructuring and expansion.

As a result of this process, many of these institutions are now characterized as multi-campus organizations, with a large capilarity in the states, which enhances their role as a vehicle for social transformation. However, this new configuration requires actions that integrate environmental management and building infrastructure aiming their strategic objectives. Therefore, efforts must be made to continuously improve their manageable environmental aspects.

Energy use is one of these aspects and, like the rest of the country, there are already a large number of photovoltaic systems installed in these organizations, bringing economic, environmental and social benefits. However, given the viability of these systems in practically the entire national territory and the limited resources for the installation of new systems, this article aims to evaluating the energy performance of the expansion of Distributed Generation in public HEIs.

Therefore, the Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí was used as the object of study, a pioneer in the installation of Distributed Generation Systems in the state and which was also contemplated with the recent expansion of photovoltaic systems. Therefore, studies already developed at the institution were continued, and the conclusions presented may be relevant even to other types of organizations.

2 THEORETICAL BASIS

The utilization of solar energy, beyond natural processes, holds significant potential for sustainable development and positively contributes to the Agenda 2030, a global cooperation agreement published by the United Nations (UN) in September 2015. Member countries committed to 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and 169 targets to be pursued over the subsequent 15 years (UN, 2015). Concerning energy utilization, under the seventh goal (affordable and clean energy), one aims to increase the share of renewable energy sources, which remains a persistent challenge. This is due to the rising demand driven by population growth and primarily by economic development, resulting in environmental impacts that can be mitigated through the expansion of renewable energy conversion systems at both national and global levels (EPE, 2023).

Traditionally, large amounts of electrical energy are generated far from consumption centers in power systems (centralized generation), thus demanding the use of transmission and distribution systems. This is because the current level of technological development requires electricity to be consumed as it is produced, given the challenge of storing it in large-size systems (Morais et al., 2021). However, in 2012, distributed generation (DG) was regulated in Brazil through a Regulatory Resolution issues by the Brazilian National Electric Energy Agency (ANEEL) (ANEEL, 2012), establishing a model wherein small electricity-generating systems (micro and mini systems) can be installed at consumer units. This allows the generated energy to be consumed by the user at the instant of generation, that is, involving simultaneous generation and consumption, with any surplus being injected into the distribution grid and accounted for as energy credits to be used in subsequent electricity billing (Costa et al., 2022).

Since the initial regulation, there has been an exponential growth in DG in Brazil (ANEEL, 2023; Costa et al., 2022). In 2021, a new federal law was enacted (BRASIL, 2021), establishing a new regulatory framework for DG. Although it provided legal certainty to the sector, it changes the rules regarding the tariffing of surplus electricity generated and injected into the utility power grid (generation credit). This change does not render the installation of new systems unfeasible but negatively impacts the resulting cash flow, further requiring the implementation of energy management systems (Sousa et al., 2023). In the context of electricity usage, DG in buildings, whether residential or commercial, becomes significant, as their electricity consumption accounts for 22.5% of the country's total consumption (EPE, 2023).

Higher education institutions (HEIs), categorized among non-residential buildings, underwent significant geographical expansion starting from the 1960s. This scenario demanded improved academic and administrative management to ensure unity and high performance across the newly configured multicampus organization (Zarantoneli; Paradela, 2020). In federal HEIs, this expansion became more pronounced after 2007 with the advent of the Support Program for the Restructuring and Expansion of Federal Universities (REUNI). All federal institutions joined the program from its inception year, experiencing a substantial increase in infrastructure (Zander et al., 2022). Furthermore, this expansion was greatly influenced by the establishment of Federal Institutes of Education, Science, and Technology (IFETs), which involved the implementation of new campuses and the restructuring of Federal Centers of Technological Education (CEFETs), Federal Agrotechnical Schools (EAFs), and Technical Schools affiliated to Brazilian Federal Universities. These institutions were brought on par with universities in terms of offering higher education programs and organizational structure (Rosinke et al., 2020; Carvalho et al., 2022).

Since energy usage is a manageable environmental aspect in HEIs, consolidating environmental management institutionalization is a must, considering this input as one of the managed environmental aspects (Silva et al., 2018; 2020). This enables these organizations to encourage concrete changes in social reality not only through their core activities but also through the integration of management and building infrastructure aiming to consolidate them as sustainable educational institutions. Brazil has a great potential for photovoltaic (PV) generation due to its vast territorial extension with solar irradiation rates higher than those of European countries that lead this scenario (Pereira et al., 2017). Furthermore, Silva et al. (2021) highlight the implementation of grid-connected PV systems (GCPVSSs) in several Brazilian HEIs: Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Federal University of Uberlândia (UFU), Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Norte (IFRN), Federal University of Piauí (UFPI), and Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí (IFPI). All facilities are characterized as micro and mini-generation systems, in which proper figures of merit demonstrate technical feasibility.

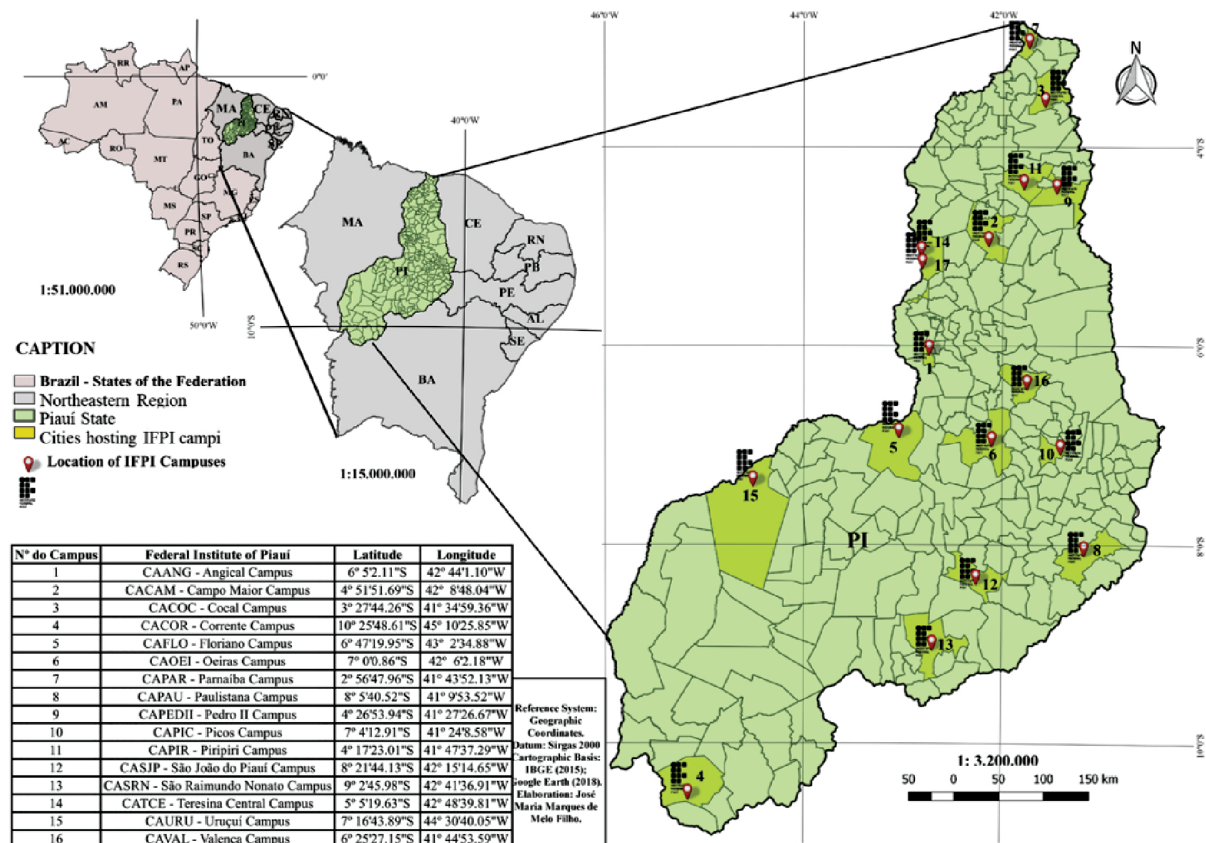
Still in this context, compared to the rest of Brazil, the Northeast region has the highest average irradiation and lowest interannual variability, which are mandatory characteristics for the implementation of PV systems. This behavior can also be observed in the state of Piauí, whose municipalities have a daily average solar irradiation 4% higher than the average of the Northeast region (Pereira et al., 2017). In November 2019, the Brazilian government released R\$60 million for the installation of 852 PV plants in federal technological education institutions, which would yield estimated annual savings of R\$17.7 million (BRASIL, 2019).

Most of the municipalities in Piauí with the highest generation potential are located in the southeast region of the state. The installation of PV systems is technically and economically viable, resulting in great strategic adherence. Potential benefits include reducing energy costs, preserving the environment, and the core activities of HEIs, given that the installation of PV systems can stimulate teaching, research, and extension activities (Silva et al., 2021). (Silva et al., 2021). Since the state of Piauí was also included in government programs, 10 new PV systems were commissioned at IFPI, with an average power of 47.5 kWp in the year 2020 (Silva et al., 2021). Furthermore, it is worth mentioning that this is follow-up research of (Morais et al., 2021) and (Silva et al., 2021). Overall, all aforementioned studies can contribute to regional development and the UN global agenda or sustainable development by encouraging the increased usage of renewable energy sources.

3 MATERIALS AND METHODS

Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí (IFPI) (Figure 1) was established in 1909 as the School of Artisan Apprentices of Piauí (EAAP). The internalization process began in 1986 with the construction of the Decentralized Teaching Unit (UNED) of Floriano (inaugurated in 1994) and underwent significant expansion, particularly from 2008 onwards, with the creation of the Federal Institutes of Education, Science, and Technology, with the creation of 12 new campuses and 3 new advanced campuses (Rêgo, 2015; IFPI, 2020). This expansion was the result of a national policy aimed at expanding and internalizing access to technological education (Pereira; Cruz, 2019; Rosinke et al., 2020; Carvalho et al., 2022), which led IFPI to consolidate itself with a multicampus organizational structure.

Figure 1 – Distribution of IFPI campuses



Source: Silva et. (2018).

Since its establishment in 1909, its objectives have evolved, and in 2020, IFPI aimed to be “consolidated as a center of excellence in professional, scientific, and technological education, remaining among the best educational institutions in the country” (IFPI, 2020). The institution has 17 university campuses, as well as three advanced campuses and the rectorate head office, distributed in all regions of the state. Thus, all the buildings of the institution comprise the scope of the present research, and therefore, it is a census and deductive in nature.

IFPI, like other HEIs in the country, is regarded as an energy consumer of the public sector type by electrical utilities. Thus, according to the methodology used by Silva et al. (2023), data was initially collected from ANEEL (ANEEL, 2023) regarding the DG in Brazil, in the Northeast region, and specifically in the state of Piauí. This is necessary to assess the integration of this technology in these types of consumers, as well as the relevance of this particular HEI in this context. For this purpose, spreadsheets and data analysis tools were used (Microsoft, 2021; 2022).

Ultimately, given the confirmation of the existence of remote monitoring systems in all installed systems, the electricity generation in new PV systems installed at the institution was assessed in the first year after commissioning, as well as the electricity consumption in the year prior to commissioning

(Silva et al., 2020). The generation percentage in relation to consumption and figures merit for technical analysis such as the capacity factor, final productivity, and performance rate were calculated. The corresponding greenhouse gas emission rates not emitted into the atmosphere were also determined based on the emission levels of the country's energy matrix (Morais et al., 2021; Mesah et al., 2019). Analyzing the aforementioned parameters, it is possible to compare systems operating in different configurations and technologies, as well as in different regions (Nóbrega et al., 2018).

The capacity factor (CF) of a PV system is the ratio between the energy generated during a specific period and the rated power (Thotakura et al., 2020). It can be calculated from Eq. (1), where P_0 is the rated power of the PV system and E is the electrical energy generated by the system during a given time interval ($t_2 - t_1$). This parameter allows for assessing the operating time of PV modules at full load condition (Qiu et al., 2022), providing information about the utilization of available solar resources, typically over a year, which consists of 365 days or 8760 hours (Mesah et al., 2019).

$$FC = \frac{E}{P_0 (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

In turn, the final productivity (Y_f), measured in kWh/kWp, is the ratio between the net energy produced and the peak power of the PV generator (Thotakura et al., 2020). This parameter should be calculated under standard test conditions (STC) from Eq. (2) (Zdyb; Gulkowski, 2020).

$$Y_f = \frac{E}{P_0} \quad (2)$$

According to Lagarde et al. (2021), there are losses related to the theoretical amount of generated energy and the actual output. Thus, Fuster-Palop et al. (2022) state that the performance ratio (PR) can be understood as an efficiency parameter that measures such energy losses associated with the ratio between the actual energy output Y_f and the theoretical maximum energy output Y_r during a same period as calculated from Eq. (3).

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

According to Nóbrega et al. (2018), this parameter allows for comparing PV systems with different geographical locations, module positions, and rated powers, as it normalizes productivity in relation to solar irradiation, through the reference productivity Y_r . One can calculate the latter parameter from Eq. (4), which gives the ratio between the total irradiation on the array plane H (given in kWh/m²) and the reference irradiance G_{ref} corresponding to 1000 W/m² at STC.

$$Y_r = \frac{H}{G_{STC}} \quad (4)$$

This index can also be referred to as the number of hours of full sun, as it represents the duration of time during which solar radiation is at the reference level (Morais et al., 2021). In this work, it has been determined based on the geographical coordinates of the systems and the azimuthal deviation and inclination of the PV modules using dedicated software (LABSOL, 2010; Zomer et al., 2023; Gomes et al., 2023). In all analyses, the contracted expansion was compared with the existing PV systems of the HEI in the first year of operation to normalize the results.

4 RESULTS AND DISCUSSION

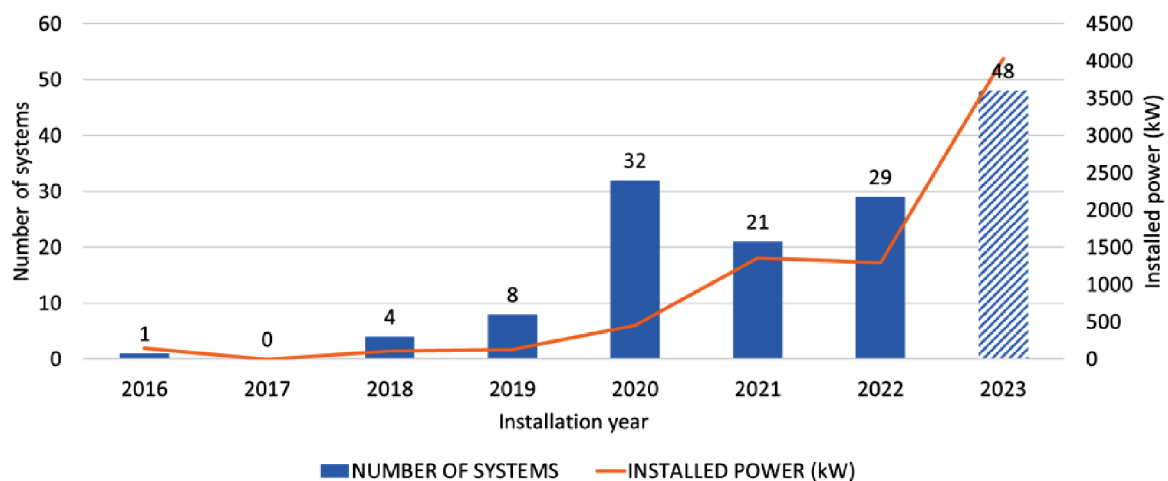
All DG systems in the state of Piauí are PV solar type. They account for a total installed power of 406,997.15 kW, corresponding to 8.85% of the installed power in the Northeast region of Brazil and 1.73% of the installed power in the entire country, with units classified according to the type of consumer (ANEEL, 2023). The PV system at the Floriano campus was the first mini-generation system installed, with a rated power greater than 75 kW and less than 5 MW) as well as the first system of a public organization installed in Piauí (ANEEL, 2023). After its installation in June 2016, there was an increase in installed power of 43.17% per year until the end of 2022, compared to an annual growth of

191.16% in the annual power increment of DG systems in Piauí (from 2015, the year of installation of the first system after the regulation of DG Generation in Brazil, until 2022).

As of September 9, 2023, there was a total of 143 DG systems corresponding to public consumer units in Piauí, with an average power of 52.56 kW per system, corresponding to 1.85% of the total DG installed power in the state (ANEEL, 2023). Consumer units of this type were responsible for 6.5% of the state's electricity consumption in the year 2022 (3,996 GWh) (EPE, 2023). Proportionally, this amount accounts for 2.5 times the installed capacity of DG systems in this sector. However, it is worth mentioning there is a greater relevance for public consumers in Piauí, as the representation of DG systems in public institutions is 37.36% and 58.27% higher compared to the Northeast region and the country, respectively.

The historical relevance of the public sector in the context of DG systems in Piauí has been low. However, there was an increase rate of 92.01% and 128.68% in the installed power and the number of systems, respectively, during the first eight months of 2023, accounting for the installation of 19 additional systems compared with the entire previous year and representing an increase of 111.86% as observed in Figure 2. Only 13 systems are characterized as mini-generation (systems with powers of up to 5 MW and greater than 75 kW), and 90.91% corresponds to micro-generation (systems with powers of up to 75 kW). Therefore, more than half of the DG systems in Piauí's public sector, that is, 51.05% are rated at less than 25 kW.

Figure 2 – Rated power and number of installed systems related to DG in the Piauí's public sector up to September 9, 2023



Source: prepared by the authors with data from ANEEL (2023).

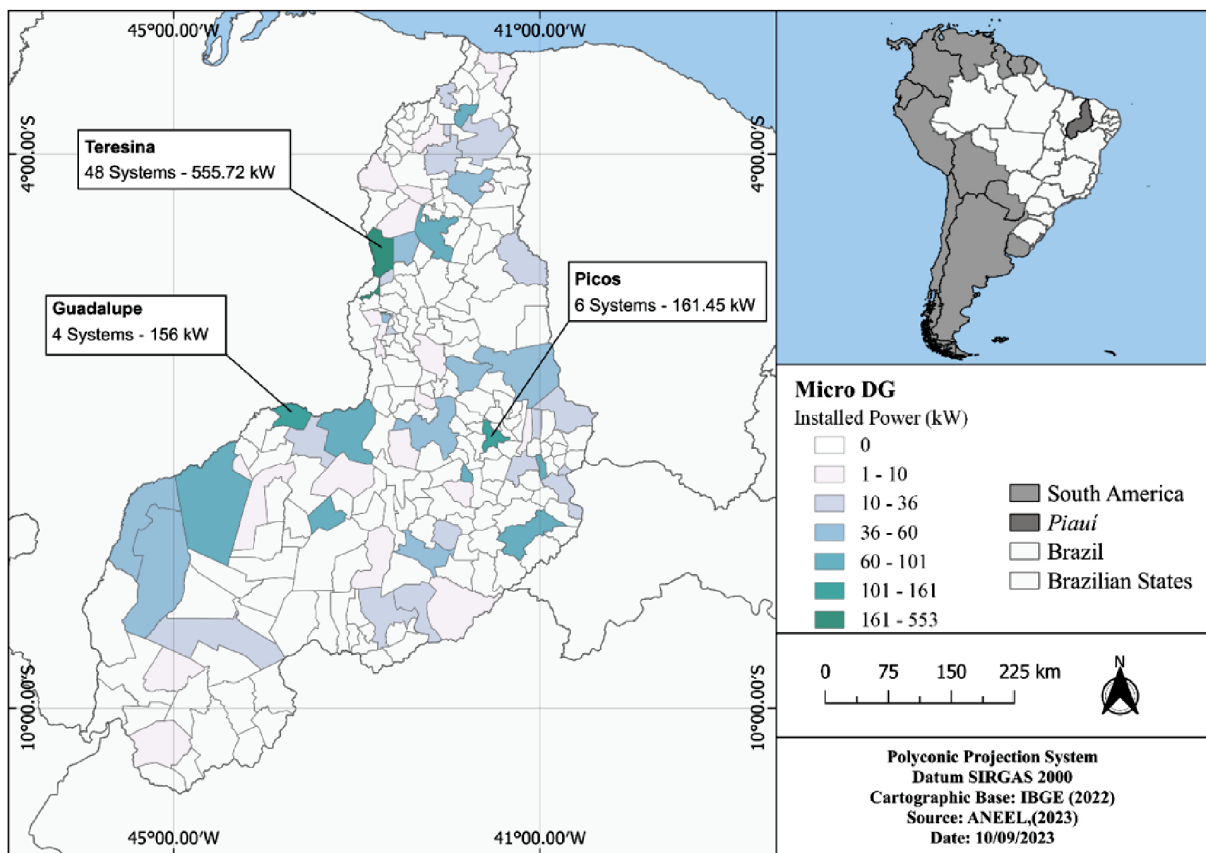
The city of Teresina, that is, Piauí's capital, has the highest number of DG systems in the public sector, corresponding to 54 installed systems (88.89% microgeneration), with a total power of 1686.72 kW (67.23% corresponding to minigeneration systems), with average powers of 11.52 kW and 189 kW for microgeneration and minigeneration system, respectively (ANEEL, 2023). The installation of micro DG systems in the public sector was identified in 55 municipalities, with a focus on Teresina (48 systems and 552.72 kW of total power), Picos (six systems and 161.45 kW of total power), and Guadalupe (four systems and 156 kW of total power), accounting for the first, second, and third highest positions in the installed power rank for this type of consumer (Figure 3). Regarding mini DG systems in the public sector, the municipalities of Coivaras (one system of 1,800 kW) and Altos (one system of 1,350 kW) are the first and second municipalities in terms of installed power, with the city of Teresina holding only the third position, with 1,134 kW, despite having six DG systems in the public sector (Figure 4).

These two large systems installed in the countryside of Piauí stem from a public-private partnership established by the state government (PIAUI, 2022). Therefore, they should be the subject of future studies, especially after the publication of the New Legal Framework for Distributed Generation, which established a new form of compensation for energy injected into the utility grid (BRASIL, 2022).

Furthermore, there is a significant presence of DG systems associated with the public sector in the capital. Owing to the large number of systems, Teresina holds the leading position among municipalities. However, small-scale systems predominantly characterize this scenario.

The DG system installed at the Floriano Campus (Figure 1), which is the first mini-generation system and the first public system in the state, has a rated power of 150 kWp. It consists of 660 polycrystalline modules arranged in the form of strings, which are sets of series-connected modules responsible for supplying an inverter. The strings, which are connected to seven inverters with an average power of 21.42 kW each, have a tilt angle of 15° and are oriented to the northeast (azimuthal deviation of 5°) and southwest (azimuthal deviation of -175°) (Morais et al., 2021). This system is technically feasible as demonstrated by a comprehensive analysis involving proper figures of merit. It aligns with the institution's mission and vision while bringing several benefits to teaching, research, and extension activities (Silva et al., 2021), especially owing to the high daily average irradiation rates of the city (5641 kWh/m²/day) (Pereira et al., 2017).

Figure 3 – Installed power of micro DG systems in Piauí's public sector per municipality up to September 9, 2023

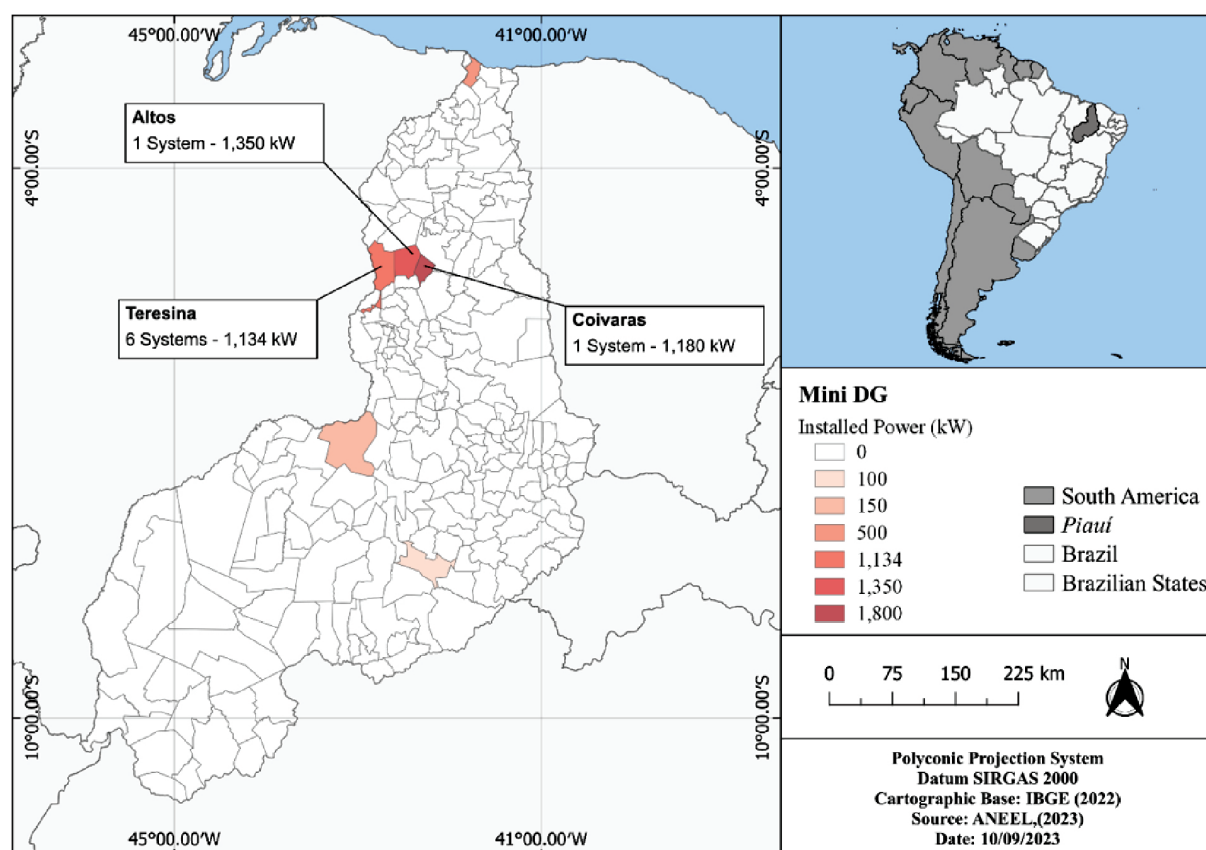


Source: prepared by the authors with data from ANEEL (2023).

However, even with all these benefits, its economic viability is called into question because of the high initial investment and high basic unit cost (BUC), low financial return, and long payback (Morais et al, 2019). In multicampus HEIs such as IFPI, the installation of small (microgeneration) systems in sites with a low technical-economic feasibility is better recommended to promote environmental education. Thus, higher investments should be directed to campuses with the highest technical, economic, and environmental benefits (Silva et al., 2021).

Moreover, in 2020, the commissioning of 10 new PV systems occurred: eight microgeneration systems with an average power of 53 kWp and two new minigeneration systems with rated powers 80 kWp and 119 kWp, totaling 625 kWp, with a similar BUC of R\$3.06/Wp (Silva et al., 2021). However, a follow-up analysis carried out through a formal request to the engineering sector of the HEI identified that as of September 27, 2023, only five of the 10 new systems had been effectively installed, while the contract with the winning company of the bidding had been terminated: Central Teresina Campus (CATCE), South Teresina Campus (CTZS), Campo Maior Campus (CACAM), Valença Campus (CAVAL), and Paulistana Campus (CAPAU), adding 311.34 kWp of installed power (49.36% of the total contracted) and totaling R\$934,138.10 in terms of initial investment (67% of the total contracted) (Table 1).

Figure 4 – Installed power of mini DG systems in Piauí's public sector per municipality up to September 9, 2023



Source: prepared by the authors with data from ANEEL (2023)

Table 1 – DG systems installed at IFPI on September 27, 2023

Parameters	CAFLO	CTZS	CACAM	CAVAL	CAPAU	CATCE	Total
Initial Investment (R\$)	1,150,000.00	355,008.90	189,478.20	170,338.80	145,733.80	73,578.40	2,084,138.10
Contracted Power (kWp)	150.00	120.00	60.00	60.00	50.00	18.48	458.48
BUC (R\$/Wp)	7.67	2.98	3.16	2.84	2.89	3.98	4.55
Commissioning	05/25/2016	09/03/2021	08/18/2020	10/21/2020	08/24/2020	06/10/2021	NA
Monitoring	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	NA

Source: prepared by the authors with data from (Morais et al., 2019) and (Silva et al., 2021).

From this analysis, it was observed that technical criteria were not decisive for the selection of campuses and the installation of PV systems, since units with higher availability of solar resources located in the southeastern region of the state were not chosen. However, the expansion of systems to various campuses of the HEI is noted. It can bring several benefits to the institution's core activity, in addition to reducing the BUC by 60.50%, even though the largest resources were not allocated to campuses where a higher BUC is expected, as found by Silva et al. (2021).

Furthermore, although all systems were contracted through a same bidding process and installed by the same company, except for the ones in the Floriano and Central Teresina Campuses, the PV systems are different, as it was possible to observe the use of modules from five different manufacturers according to Table 2. At the time of the survey, there were 1500 installed modules (840 new units since 2020), with average power and efficiency of 321.96 Wp and 18.20%, respectively. Comparing the new modules with those installed in 2016, the average power and efficiency increased by 42.55% and 19.60%, respectively.

Table 2 – PV modules installed at IFPI on September 27, 2023

Manufacturer/Model	Campus	Type	Amount	Unit Power (Wp)	Total Power (Wp)	Efficiency (%)
CANADIAN SOLAR/CS6P-260P	CAFLO	Polycrystalline	660	260	171,600	16.16
JINKO SOLAR/JKM400M-72-H	CTZS	Monocrystalline	300	400	120,000	19.88
BYD/330 P6C-36	CACAM/CAPAU	Polycrystalline	342	330	112,860	18.30
OSDA SOLAR/ODA400-36-M	CAVAL	Monocrystalline	150	400	60,000	20.16
JA SOLAR/JAM72S09-385/PR	CATCE	Monocrystalline	48	385	18,480	19.30

Source: prepared by the authors with data from (Morais et al., 2019).

As for the inverters, there are 12 units from four different manufacturers, totaling a rated power of 425 kW, with an average efficiency of 98.52% (Table 3). Comparing the new systems with the one installed in 2016, there was an increase of 157% in average power and 0.38% in average efficiency. This is due the advent of commercial equipment with improved characteristics, leading to a reduction in the area occupied by PV systems, as well as the required materials and socio-environmental impacts.

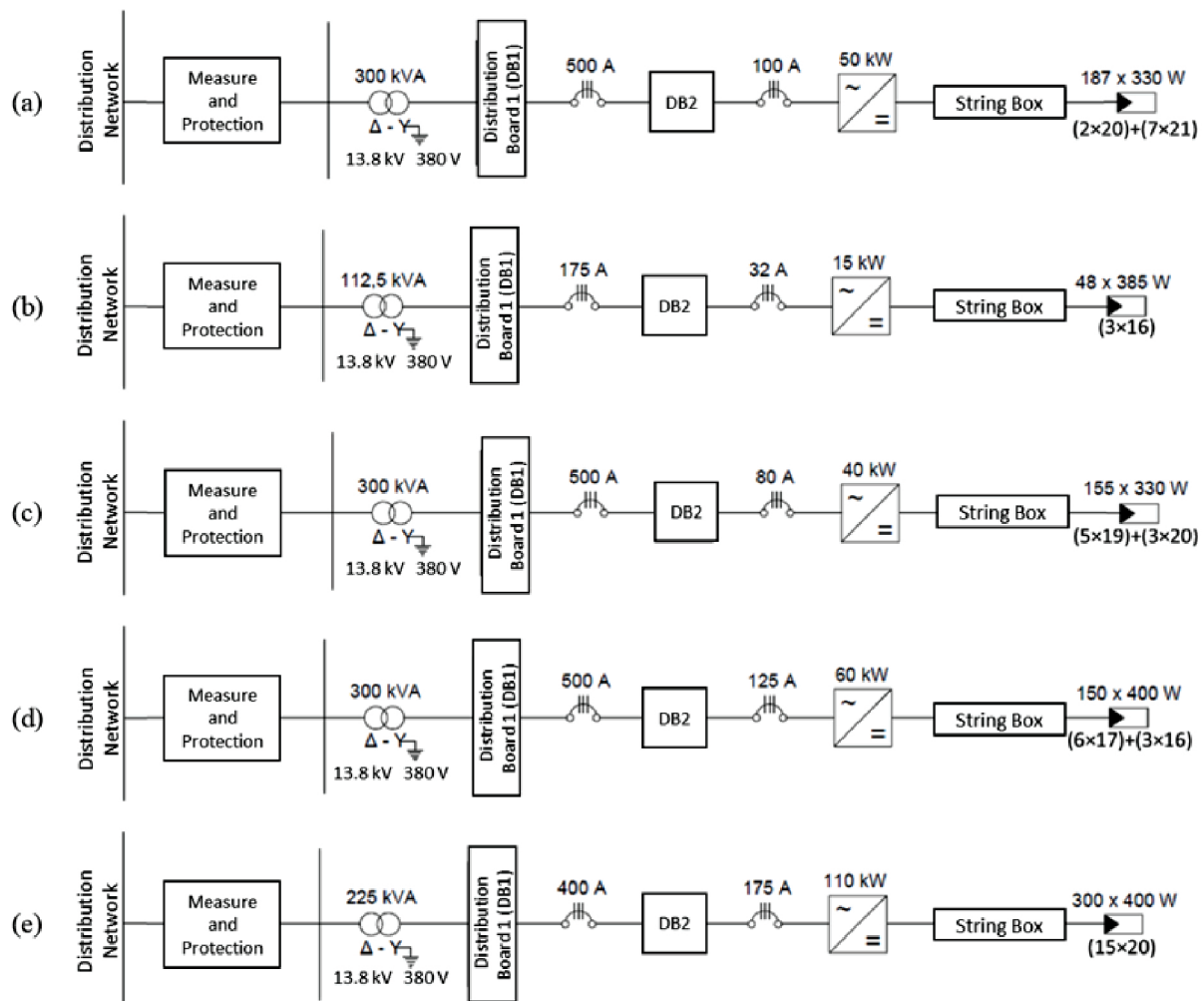
Table 3 – Inverters installed at IFPI on September 27, 2023

Manufacturer/Model	Campus	Amount	Rated Power (W)	Total Power (W)	Efficiency	Type
SMA SUNNY/SIW500 ST010	CAFLO	1	10,000	10,000	98.1	Three-phase/MPPT
SMA SUNNY/SIW500 ST015	CAFLO	1	15,000	15,000	98.2	Three-phase/MPPT
SMA SUNNY/SIW500 ST025	CAFLO	5	25,000	125,000	98.3	Three-phase/MPPT
SUNGROW/SG110CX	CTZS	1	110,000	110,000	98.7	Three-phase/MPPT
SUNGROW/SG50CX	CACAM	1	50,000	50,000	98.4	Three-phase/MPPT
DEYE/SUN-60 K-G	CAVAL	1	60,000	60,000	98.9	Three-phase/MPPT
SUNGROW/SG40CX	CAPAU	1	40,000	40,000	98.6	Three-phase/MPPT
GOODWE/GW 15KN-DT	CATCE	1	15,000	15,000	98.3	Three-phase/MPPT

Source: prepared by the authors with data from (Morais et al., 2019).

Even though there is no defined standard for the systems, another advantage of using modern equipment lies in the possibility of achieving simpler arrangements compared to the diagram corresponding to the system installed at the Floriano Campus (Morais et al., 2021). A single inverter was used per project, even though the PV systems have multiple strings (Figure 5). The systems of the Campo Maior and Paulistana Campuses are installed on the main facade, the Central Teresina Campus is installed on the west facade of Building A, the South Teresina Campus is located on the north facade, and the Valença Campus is located on the southwest facade (Figure 6).

Figure 5 – Single-line diagrams of the PV systems installed at the Campo Maior Campus (a), Central Teresina Campus (b), Paulistana Campus (c), Valença Campus (d), and South Teresina Campus (e)



Source: prepared by the authors.

The Brazilian energy matrix emitted 78kg of CO₂ for each megawatt-hour of electricity generated in 2020. It is worth mentioning that CO₂ is a greenhouse gas that contributes to global warming, whose reduction is included in the goals of the Agenda 2030 (EPE, 2023). The PV systems installed at the HEI, which during their operation do not release greenhouse gases, generated 448,347 kWh in their first year of operation, equivalent to 2,784 Brazilian households in August 2023, while avoiding the emission of 34.97 tons of CO₂ into the atmosphere (EPE, 2023) (Table 4), thus contributing to reducing global warming in accordance with the UN Agenda 2030. However, despite all these benefits, some problems were identified in the operation, especially in the system installed at the Central Teresina Campus.

The system at the Central Teresina Campus was commissioned on June 10, 2021. However, despite the difficult access to the system due to its location, it was vandalized by criminals. By the end of 2022, electricity generation occurred in only eight out of 18 months, accounting for 44.44% of the total time, with a monthly average generation of 826.86 kWh. This represents only 0.69% and 1.43% of the energy consumption of the campus and the building where the system is installed, respectively (Table 4). Consequently, this resulted in significantly lower values for the performance metrics, with only 11.94% of the CR, final productivity, and PR compared to the average values of the other systems (Table 5).

Figure 6 – PV systems installed at the Campo Maior Campus (a), Central Teresina Campus (b), Paulistana Campus (c), Valença Campus (d), and South Teresina Campus (e)



Source: prepared by the authors.

Table 4 – New PV systems installed at IFPI in the first year of operation

Campus	System Power (kWp)	Commissioning Date	Energy consumption in the year prior to installation (kWh)	Energy consumption in the year after installation (kWh)	Ratio between energy consumption and generation	Avoided CO ₂ emissions (t)
CTZS	171.60	09/03/2021	260,177	182,114	70.00%	14.20
CACAM	120.00	08/18/2020	252,744	90,403	35.77%	7.05
CAVAL	61.71	10/21/2020	151,109	85,955	56.88%	6.70
CAPAU	60.00	08/24/2020	194,588	86,505	44.46%	6.75
CATCE	51.15	06/10/2021	486,117	3370	0.69%	0.26

Source: prepared by the authors.

Table 5 – Figures of merit of the PV system installed at IFPI in the first year of operation.

Campus	System Power (kWp)	CF	Final Production (Wh/Wp)	Irradiation on the module plane (kWh/m ² /day)	Reference Production (Wh/Wp)	PR
CAFLO*	171.60	17.04%	1493.12	5.57	2033.05	73.54%
CTZS	119.33	17.32%	1517.62	5.72	2086.28	72.74%
CACAM	60.00	16.72%	1464.97	5.64	2058.30	71.17%
CAVAL	60.00	16.35%	1432.58	5.50	2007.20	71.37%
CAPAU	50.50	19.31%	1691.20	5.74	2095.40	80.71%
CATCE	18.48	2.08%	182.34	5.67	2067.73	8.82%

Source: prepared by the authors with data from (Morais et al., 2019).

Nota: * Values determined based on (Morais et al., 2019).

Such conditions require both preventive and corrective maintenance by the HEI to fully restore the system and prevent future failures. However, a new PV system is currently being installed and commissioned on this campus. The initial investment for this system is R\$ 950,000.00, with a rated power of 250 kWp. It comprises 332 modules rated at 560 W for Block A, totaling 185.92 kWp, and 116 modules rated at 560 W for Block B, totaling 64.96 kWp. This new system has the potential to address the

mentioned inconvenient issues. Additionally, for determining the operational performance of DG expansion, the system installed on this campus was excluded from the analysis due to the encountered problems, this being an outlier.

In this expansion, it is evident that energy generation in the first year after system installation accounted for over half of campus energy consumption in the previous year (51.8%). Notably, Campo Maior and Valença campuses had the lowest and highest percentage generation compared to consumption, corresponding to 35.8% and 70.0%, respectively. Additionally, considering the data regarding the installed modules and inverters in Tables 2 and 3, respectively, one can state that there was an improvement in the overall performance of the new systems. The CR and final productivity increased by 2.27% and 2.24%, respectively, with the PR increasing by 0.63% compared to the system installed at the Floriano Campus. Thus, encouraging the use of increasingly efficient equipment is essential for ensuring continuous improvement in system performance.

Finally, in addition to the new systems of the Central Teresina Campus, another system is also currently under implementation and commissioning in the Picos Campus, consisting of 120 modules rated at 560 W, totaling 67.2 kWp and an initial investment of R\$ 254,600.00. Both systems should be the subject of future studies to evaluate their performance, especially owing to the new DG regulation that is likely to impact the technical and economic viability. This new regulation would require improved energy management actions, for instance, given that the old systems were not affected by changes in DG legislation (Silva et al, 2023).

5 CONCLUSION

All distributed generation systems in Piauí are of the solar PV type. The systems installed in the public sector account for 8.85% of the installed capacity in the northeastern region of Brazil and 1.73% of the installed capacity nationwide. IFPI, a multicampus higher education institution, led the way in Piauí's DG scenario by installing the state's first mini-generation energy system and the first system implemented within a public organization. The latter demonstrated strategic alignment, technical feasibility, and a debatable economic feasibility due to its long payback period and poor cost-benefit ratio. However, apart from its socio-environmental benefits, its implementation in the institution could also stimulate teaching, research, and extension activities, thus contributing to its core mission.

Since the installation of the initial DG system in the public sector, there has been an increase in the state's installed capacity until the end 2022. This growth has also been observed nationwide since the implementation of the second DG regulation. Until then, DG was incipient in Piauí. Regarding the installed capacity of DG mini-generation systems in the public sector, the municipalities of Teresina, Picos, and Guadalupe stand out in the state. As for the installed capacity of this type of consumer, the municipalities of Coivaras, Altos, and Teresina are notable. However, there is a low participation of such consumers in the DG scenario compared to the consumption percentage, which accounts for 2.5 times the installed capacity in Piauí's electric energy matrix.

In the context of IFPI, the expansion of PV systems proved technically and economically viable, with the first year of operation generating enough electricity to power 2,784 Brazilian households and avoiding the emission of 34.97 t of CO₂ into the atmosphere. This contributes to the reduction of greenhouse gas emissions and aligns with the targets of the 2030 UN Agenda. Considering this favorable framework, 10 new PV systems were contracted, expanding DG systems into rural areas of the state, resulting in reduced costs and increased technical and economic feasibility. However, it is worth considering technical and economic criteria when selecting locations for installing new PV systems at HEIs.

Furthermore, despite the increase of 311.34 kWp in installed capacity, only half of the contracted systems were installed. The contract with the company hired for installation was terminated, with only 67% of the committed value invested, thus demanding greater caution in future bidding processes. Analyzing the seven-year period since the installation of IFPI's first system, it was also noted that

these new systems demonstrated improvements in performance indices, including the efficiency and average power of the installed modules and inverters. This enhancement reflects the evolution of PV generation technology, leading to simplified arrangements and a consequent reduction in the systems' footprint, material usage, and socio-environmental impacts associated with distributed generation. These advancements should be continuously encouraged to further enhance the performance of DG systems.

However, a standard procedure was not followed in equipment selection, indicating the need for improved specifications in future contracts to ensure increased efficiency and ease of maintenance. Additionally, one of the analyzed systems was vandalized and remained inactive for more than half of the time, compromising operational performance. Therefore, implementing efficient energy management systems aligned with the maintenance sector of HEIs would be necessary to minimize these issues.

In summary, the expansion of the DG scenario in HEIs persists, as demonstrated by the contracting of two new systems for IFPI. These systems should be the focus of future studies, particularly in light of Brazil's New Legal Framework for DG. Aiming to contribute to sustainable regional development, the methodology used in this study for assessing the operational performance of PV systems can be applied to other organizations, provided that a monitoring system to measure energy generation and consumption exists.

REFERENCES

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relação de Empreendimentos de Geração Distribuída**. Brasília, 2023. (Accessed: 09 Sept. 2023) Available at: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida>.

_____. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, 2012. (Accessed: 25 Sept. 2023) Available at: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Brasília, 2022. (Acesso em 25 set. 2023) https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm.

_____. **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. MEC libera R\$ 60 milhões para instalação de usinas fotovoltaicas em instituições federais de educação tecnológica**. Brasília, 2023. (Accessed: 25 Sept. 2023). Available at: <http://portal.mec.gov.br/ultimas-noticias/12-aco-es-programas-e-projetos-637152388/82751-mec-libera-r-60-milhoes-para-instalacao-de-usinas-fotovoltaicas-em-instituicoes-federais-de-educacao-tecnologica-2>.

CARVALHO, N. B.; LIMA, I. O.; MORORÓ, L. P. A interiorização dos Institutos Federais no Brasil como estratégia para expansão do Ensino Superior: um olhar sobre o estado da Bahia. **Revista Cocar**, v.16, n. 34. 2022.

COSTA, V. B. F.; CAPAZ, R. S.; SILVA, P. F.; DOYLE, G.; AQUILA, G.; COELHO, E. O.; LORENCI, E. Socioeconomic and Environmental Consequences of a New Law for Regulating Distributed Generation in Brazil: A Holistic Assessment. **Energy Policy**, n. 169. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113176>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Brazilian Energy Balance**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

FUSTER-PALOP, E.; VARGAS-SALGADO, C.; FERRI-REVERT, J. C.; PAYÁ, J. Performance analysis and modelling of a 50 MW grid-connected photovoltaic plant in Spain after 12 years of operation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 170, p. 112968. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112968>.

GOMES, A.; OLIVEIRA, M. F. N.; MUSCI, M. Validação de um modelo matemático para o cálculo do ângulo ótimo de inclinação de placas fotovoltaicas. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 5. 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.5-048>

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Statistics Data Browser**. Paris: IEA, 2022. (Accessed: 25 set. 2023). Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>.

IFPI - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ. **Plano de Desenvolvimento institucional 2020-2024** – Construindo para o futuro. Teresina: IFPI, 2020.

LABSOL - LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR DA UFRGS. **Radiasol**, versão 2. LABSOL. 2010.

LAGARDE, Q.; BEILLARD, B.; MAZEN, S.; DENIS, M. S.; LEYLAVERGNE, J. Performance ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.11.007>.

MENSAH, L. D.; YAMOAHA, J. O.; ADARAMOLA, M. S. Performance evaluation of a utility-scale grid-tied solar photovoltaic (PV) installation in Ghana. **Energy for sustainable development**, v. 48, p. 82-87. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.11.003>.

MICROSOFT. **Microsoft Excel 2021 MSO**, version 2306. Microsoft Corporation. 2021.

_____. **Power BI Desktop**, version 2.112.603.0. Microsoft Corporation. 2021.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, A. M.; BARBOSA, F. R. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos para análise de viabilidade técnica econômica**. 1. ed. Teresina: EdUESPI, 2021.

MORAIS, F. H. M.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 10, p. 1706–1714. 2019. <https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8986449>.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influence of Solar Irradiation in the Analysis of the Economic Viability of Photovoltaic Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360049>.

NÓBREGA, B. S.; LIMA, W. G., MELO, R. H. F., GONÇALVES, M. C. P.; NETO, A. D. C. W. Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 43, p. 175-188. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n43p175-188>.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: The 2030 agenda for Sustainable Development** United Nations. New York: ONU, 2015.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R.; COSTA, R.S.; LIMA, F.J.L.; RÜTHER, R.; ABREU, S.L.; TIEPOLO, G.M.T.; PEREIRA, S.V.; SOUZA, J.G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2nd ed. v. 2. São José dos Campos: INPE, 2017. <https://repositorio.unifesp.br/items/3a0c7b2a-a107-4cc9-9449-f08db316e47e>.

PEREIRA, L.; CRUZ, J. Os Institutos Federais e o desenvolvimento regional: interface possível. **HOLOS**, v. 35, n. 4, p. 1–18. 2019. <https://doi.org/10.15628/holos.2019.7992>

PIAUI. SUPERINTENDÊNCIA DE PARCERIAS E CONCESSÕES. **Miniusinas de Energia Solar**. Teresina, 2023. (Accessed: 27 Sept. 2023). Available at: <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/index.php/projetos/estudo-de-viabilidade/miniusinas-de-energia-solar/>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014.

QIU, T.; WANG, L.; LU, Y.; ZHANG, M.; QIN, W.; WANG, S.; WANG, L. Potential assessment of photovoltaic power generation in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 154, p. 111900. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111900>.

RÊGO, V. R. **100 Fatos de uma escola centenária**. 1. ed. Teresina: IFPI, 2015.

ROSINKE, J. G.; CARVALHO, E. T.; ROSINKE, G. C. L.; SILVA, G. J. S. A participação dos Institutos Federais na Interiorização da Educação Superior Presencial no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1570>

SILVA, O. A. V. O. L.; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T. An analysis of Energy Efficiency in multicampi Higher Education Institutions and a novel Environmental Labeling Proposal. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**. 2020. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820200722>.

_____. Análise envoltória de dados para a gestão energética em instituições de ensino superior multicampi. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 50, p. 78–96. 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180401>.

SILVA, O. A. V. O. L.; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T.; MORAIS, F. H. M. Expansion of photovoltaic systems in multicampi higher education institutions: evaluation and guidelines. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 56, n. 1, p. 697–709. 2021. <https://doi.org/10.5327/Z217694781009>

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, p. 134-150. 2023. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v14n2.2023.49414>

SOUSA, D. L.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; LIRA, M. A. T.; MORAES, A. M.; ALVES, D. R. S. Economic feasibility of distributed generation for Brazilian households: influence of the new legal framework. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 58, p. 134-144. 2023. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781574>

THOTAKURA, S.; KONDAMUDI, S. C.; XAVIER, J. F.; QUANJIN, M.; REDDY, G. R.; GANGWAR, P.; DAVULURI, S. L. Operational performance of megawatt-scale grid integrated rooftop solar PV system in tropical wet and dry climates of India. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 18, p. 100602. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100602>

ZANDER, T. M. M.; PILATTI, L. A.; BONDARIK, R.; SANTOS, C. O. O Programa REUNI e a interiorização das universidades federais: uma revisão narrativa. **Educere**, v. 22, n. 1., 2022. <https://doi.org/10.25110/educere.v22i1.2022.9012>

ZARANTONELI, R. C. G.; PARADELA, V. C. A descentralização de poder nas universidades públicas brasileiras: uma comparação entre universidade multicampi e estados federativos democráticos. **Desenvolve Revista de Gestão do Unilasalle**, v. 9, n. 2. 2020. <https://doi.org/10.18316/desenv.v9i2.6105>

ZDYB, A.; GULKOWSKI, S. Performance assessment of four different photovoltaic technologies in Poland. **Energies**, v. 13, n. 1, p. 196. 2020. <https://doi.org/10.3390/en13010196>

ZOMER, C.; FOSSATI, M.; MACHADO, A. Designing with the Sun: Finding balance between aesthetics and energy performance in Building-integrated photovoltaic buildings. **Solar Compass**, v. 6. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100046>.

CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO E DESEMPENHO DAS CULTURAS ALIMENTARES NO MATOPIBA: IMPACTOS E DESAFIOS

Recovery Capacity and Performance of Food Crops in the MATOPIBA Region: Impacts and Challenges

Marisa Guilherme da Frota

Economista. Doutora em Economia Aplicada. Professora na Universidade Federal do Ceará. Rua Coronel Estanislau Frota, 563, Centro, Sobral, Ceará, Brasil. marisagf@usp.br

Jose de Jesus Sousa Lemos

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Economia Rural, dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Professor Permanente dos Programas de Pós-Graduação em Economia Rural e Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. lemos@ufc.br

Vitor Augusto Ozaki

Agrônomo. Doutor em Economia Aplicada. Professor nos departamentos de Ciências Exatas, de Economia, Administração e Sociologia e de Estatística e Experimentação Agronômica da Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba, São Paulo, Brasil. vitorozaki@usp.br

Gislaine Vieira Duarte

Matemática. Doutora em Estatística e Experimentação Agronômica. Departamento de Ciências Exatas (USP/ESALQ/LCE). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11, Bairro São Dimas, Piracicaba, São Paulo, Brasil. gislainevduarte@gmail.com

Resumo: Este estudo procurou avaliar a capacidade de recuperação das culturas alimentares (arroz, feijão, mandioca/milho) na região do MATOPIBA. O cultivo de arroz, feijão e mandioca é, em grande parte, oriundas da agricultura familiar, que desempenha papel crucial na alimentação da população e abastecimento do mercado local, além de ser essencial para a geração de empregos, renda e, principalmente, manutenção da segurança alimentar. Para avaliar a capacidade de recuperação dessas culturas, foi construído o índice de resiliência agrícola, para cada cultura e estado, durante o período de 2002 a 2021. Os resultados mostram que os estados do Maranhão e da Bahia apresentaram tendência de queda na resiliência para o cultivo de arroz, feijão e mandioca. O estado do Tocantins destaca-se como único que apresenta tendência crescente na capacidade de recuperação para todas as culturas. Em relação ao cultivo de milho e soja, para os quatro estados, observou-se tendência crescente na capacidade de recuperação.

Palavras-chave: Matopiba, Segurança alimentar, Resiliência agrícola.

Abstract: This study sought to evaluate the recovery capacity of food crops (rice, beans, cassava, and corn) in the MATOPIBA region. The cultivation of rice, beans, and cassava largely originates from family farming, which plays a crucial role in feeding the population and supplying the local market. Additionally, it is essential for job creation, income generation, and, most importantly, maintaining food security. To assess the recovery capacity of these crops, an Agricultural Resilience Index was constructed for each crop and state during the period from 2002 to 2021. The results show that the states of Maranhão and Bahia exhibited a downward trend in resilience for the cultivation of rice, beans, and cassava. The state of Tocantins stands out as the only state showing an upward trend in recovery capacity for all crops. Regarding corn and soybean cultivation across the four states, a growing trend in recovery capacity was observed.

Keywords: Matopiba, Food security, Agricultural resilience.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar desempenha papel crucial na produção de alimentos e matérias-primas para o mercado interno. Ao fornecer esses recursos essenciais, ela fortalece a economia local, provê segurança alimentar, gera empregos e renda. Ao mesmo tempo, desempenha papel importante na redução do êxodo rural, mantendo as populações nas áreas rurais e contribui significativamente para a segurança alimentar e nutricional das comunidades locais e regionais (Lemos, 2012).

Segurança alimentar refere-se ao direito de todos ao acesso regular e contínuo a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer outras necessidades essenciais, promovendo e estimulando práticas alimentares saudáveis e sustentáveis, respeitando a diversidade cultural, CONSEA (2004). Garantir segurança alimentar implica assegurar o acesso a alimentos no presente sem comprometer o futuro do sistema alimentar, sendo um direito a ser garantido pelos estados em colaboração com a sociedade civil, (Maluf; Menezes, 2002).

No entanto, a agricultura familiar enfrenta desafios crescentes, especialmente na região do MATOPIBA, onde culturas tradicionais como arroz, feijão e mandioca competem por espaço com commodities de alto valor comercial, como milho e soja. Essas culturas comerciais, intensivas em capital, ameaçam reduzir a área plantada e a produção de alimentos básicos, essenciais para a segurança alimentar e a subsistência das famílias. A escolha dessas culturas justifica-se pelo fato de integrarem os principais itens da cesta básica brasileira (Hungria, 2024). Diante desse contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: os agricultores familiares da região do MATOPIBA possuem capacidade de resiliência diante das transformações no cenário agrícola local?

Com base nessa problemática, o estudo tem como objetivo geral avaliar a resiliência agrícola do MATOPIBA, com foco em culturas alimentares tradicionais, frente ao avanço das culturas comerciais. Como objetivos específicos, pretende-se: a) analisar a evolução da produção e da área colhida de arroz, feijão, mandioca, milho e soja no MATOPIBA, entre 2002 e 2021; e b) examinar a capacidade de recuperação das lavouras alimentares tradicionais, considerando fatores climáticos e a redução da área plantada devido ao avanço das commodities, entre 2002 e 2021.

Para alcance dos objetivos propostos, foram realizadas análises referentes à evolução da quantidade produzida e da área colhida para cada cultura. Em seguida, foram construídos índices parciais. A partir da construção desses indicadores e empregando a metodologia de decomposição em componentes principais, foram extraídos os escores fatoriais utilizados na construção do Índice de Resiliência (IRES).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira tem passado por transformações significativas, especialmente com a consolidação de um modelo mais intensivo em capital e voltado para exportações. Essas mudanças têm gerado impactos importantes na segurança e soberania alimentar. Isso inclui a priorização do cultivo de lavouras voltadas para o abastecimento dos mercados externos em detrimento do suprimento para o interno, na substituição de áreas de produção de alimentos por commodities, a expansão da agricultura exportadora sobre terras ocupadas pela agricultura familiar e comunidades tradicionais e no avanço da fronteira agrícola, (Flexor et al., 2022; Feitosa et al., 2023).

Por definição, fronteira agrícola consiste no processo de incorporação de novas áreas, sendo estas, antes não exploradas ou as subutilizadas (Oliveira, 2019; Sicsú; Lima, 2000; Vieira Filho, 2016). A incorporação e expansão dessas áreas acarretam transformações nas dinâmicas do espaço produtivo e nas relações de trabalho. A fronteira agrícola do MATOPIBA, região formada pelo estado do Tocantins e partes dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia, tem como característica a modernização das áreas agrícolas, com uso de intensivos e tecnologia, transformando áreas anteriormente destinadas à produção agrícola familiar em territórios especializados com foco em grandes produções, cujo principal objetivo é a produção de commodities.

A expansão da agricultura no MATOPIBA ganhou força a partir da década de 1990, impulsionada pelas tecnologias desenvolvidas pela EMBRAPA para o cultivo agrícola em áreas de Cerrado (Oliveira; Sousa, 2006).

Esse processo culminou na oficialização do MATOPIBA como fronteira agrícola em maio de 2015, com o lançamento do Plano de Desenvolvimento Agropecuário (PDA) do MATOPIBA (BRASIL, 2015). Os principais fatores que viabilizaram a expansão da soja nessa região incluem incentivos fiscais, como o Programa Nipo-Brasileiro de Cooperação para o Desenvolvimento do Cerrado - PRODECER; a inserção de empresas produtoras e processadoras de grãos e carnes; o baixo valor das terras; a mecanização facilitada pelas terras planas; e a chegada de agricultores vindos das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, que possuíam maior poder econômico e domínio de tecnologias avançadas (Espíndola; Cunha, 2015; Santos, 2015).

Com a atuação das políticas públicas e o baixo preço das terras, a região tornou-se atrativa para produtores e investidores, que encontraram condições favoráveis para introduzir cultivos como soja, algodão herbáceo e milho híbrido. Mesmo diante da baixa fertilidade do solo, a capacidade produtiva não foi comprometida, sendo contornada por meio da adubação química (Magalhães; Miranda, 2014).

Apesar da baixa fertilidade inicial dos solos, o uso intensivo de adubação química permitiu que a produtividade não fosse comprometida. Essa modernização resultou em um modelo agrícola intensivo em capital, caracterizado pela elevada produtividade de commodities, como soja, algodão herbáceo e milho híbrido (Lemos, 2015).

No entanto, o avanço da produção agrícola no MATOPIBA está provocando implicações importantes na modificação do ecossistema de Cerrados onde, atualmente, o cultivo de soja é predominante. Observa-se também que as áreas de soja avançam sobre aquelas cultivadas anteriormente pelos agricultores familiares. Os produtores de soja das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, onde as terras ficaram relativamente mais caras, migraram para aquela fronteira onde prevaleciam agricultores familiares carentes, que possuíam mosaicos de áreas reduzidas e voltadas para a produção de alimentos (arroz, feijão, mandioca e milho, principalmente), em geral sem o uso de qualquer tecnologia definida como moderna, num regime praticamente de subsistência, sem renda monetária. As terras tinham valores bem mais reduzidos do que aqueles observados nas regiões de onde vieram aqueles migrantes, que as adquiriram. Dessa forma, os agricultores nativos tiveram duas opções: emigrar ou tornarem-se trabalhadores assalariados dos novos proprietários das terras que outrora foram suas (Feitosa et al., 2023). Embora a permanência com a agricultura familiar seja tecnicamente possível, a viabilidade dessa opção em larga escala tem sido limitada no contexto atual.

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, a agricultura familiar representava 76,8% dos estabelecimentos agrícolas do Brasil, contribuindo com 22,8% do valor total da produção agrícola e empregando cerca de 10,1 milhões de pessoas, o que correspondia a 67,0% da força de trabalho agropecuária (IBGE, 2019). Esses estabelecimentos são responsáveis pela produção de uma variedade de alimentos essenciais para o consumo interno, como frutas, arroz, feijão, mandioca e carne bovina. Contudo, nas regiões Norte e Nordeste, a vulnerabilidade aos riscos climáticos é elevada devido à predominância da agricultura de sequeiro (Altieri; Koochafkan, 2008; Cunha et al., 2013).

Nesse contexto, o avanço da fronteira agrícola no MATOPIBA levanta preocupações sobre os impactos sociais e ambientais desse modelo. A expansão de monoculturas, como a soja sobre o Cerrado, ameaça a biodiversidade e compromete a sustentabilidade das comunidades locais, que dependem da agricultura familiar para sua subsistência e segurança alimentar. Esse cenário destaca a necessidade de políticas públicas que conciliem a produção de commodities com o fortalecimento da agricultura familiar e a preservação ambiental, garantindo o equilíbrio entre eficiência econômica e justiça social.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Base de Dados

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo utilizou séries históricas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o período de 2002 a 2021. Foram consideradas as seguintes variáveis: área colhida (hectares), quantidade produzida (toneladas), produtividade (quilogramas por hectare) e valores brutos das produções (VBP) para as culturas de arroz, feijão, milho, mandioca e soja. Além dessas variáveis, o estudo também incluiu o Produto Interno Bruto (PIB) dos estados, com o objetivo de analisar a contribuição do Valor Bruto da Produção (VBP) de cada cultura para a economia total de cada estado. Adicionalmente, a população por estado foi incorporada para mensurar a eficiência produtiva por meio do cálculo da produção per capita, permitindo uma avaliação mais precisa da relevância da produção agrícola em relação ao tamanho populacional. As variáveis VBP e PIB foram deflacionadas pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), disponibilizado pelo IPEADATA, tendo como base o ano de 2021.

3.2 Metodologia

A primeira etapa desta pesquisa consiste na construção dos índices parciais, esses índices são os indicadores que compõem o Índice de Resiliência (IRES), cujo propósito é estimar a capacidade de recuperação das lavouras alimentares na região de fronteira que corresponde ao MATOPIBA. A modelagem para construção dos índices parciais e do IRES seguem a mesma metodologia utilizada por (Lira et al., 2017; Sousa, 2023).

Os índices parciais foram construídos para cada cultura. Eles e correspondem a:

1. $IVBPIB_i$ – índice parcial da relação entre VBP_i pelo PIB. Essa relação indica a proporção da produção agrícola de determinada cultura “i” em relação à economia total, representada pelo PIB. Se o $IVBPIB_i$ for alto, isso indica que a cultura agrícola tem contribuição significativa para a economia em questão. Por outro lado, se o $IVBPIB_i$ for baixo, isso sugere que a referida cultura tem contribuição relativamente baixa para o PIB. A construção do $IVBPIB_i$ consiste em identificar o maior valor de (VBP_i/PIB) da série estudada. No ano em que o (VBP_i/PIB) é máximo atribui-se o escore 100, para os demais anos, realizam-se ajustes proporcionais em relação ao ano base, ou seja, $0 < IVBPIB_i < 100$.
2. $IPERC_i$ - índice parcial de produção per capita. Esse indicador é calculado dividindo a quantidade produzida pela população total, referente a cada cultura em estudo, resultando em uma medida que representa a produção média por pessoa. O ano em que o $IPERC_i$ for máximo, atribui-se o escore 100 para este indicador, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, sendo $0 < IPERC_i < 100$.
3. $IAREA_i$ – índice parcial da área colhida da i-ésima cultura. Identificou-se o ano em que a área colhida foi máxima para cada cultura nos diferentes estados da análise, para o ano em que área colhida foi máximo é atribuído o escore igual a 100, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, sendo $0 < IAREA_i < 100$.
4. $IVBPAREA_i$ – índice parcial do valor bruto de produção pela área colhida da i-ésima cultura. Uma alta relação $VBP_i/área_colhida$ pode indicar agricultura eficiente e altamente produtiva, na qual grande quantidade de valor é gerada em relação à quantidade de terra utilizada. Por outro lado, uma baixa relação $VBP_i/área_colhida$ pode indicar ineficiências na produção, baixa produtividade das culturas ou preços de mercado desfavoráveis. Identificou-se o ano em que a produtividade foi máxima para as diferentes culturas e estados estudados, para o ano em $IVBPAREA_i$ foi máximo o escore atribuído é igual a 100, para os demais anos os escores são calculados de forma proporcional, considerando como base o ano em que foi observado o valor máximo, sendo $0 < IVBPAREA_i < 100$.

Nesse contexto, quanto mais próximo de 100, maior é a capacidade de recuperação, indicando maior resiliência da cultura. Por outro lado, quanto mais distante de 100, menor é a capacidade de recuperação da cultura.

Sob a premissa da construção dos indicadores mencionados, o ano em que as culturas alcançaram o valor máximo pode ser interpretado como a capacidade potencial máxima daquela cultura. Nos anos em que os indicadores apresentarem valores abaixo de 100, sugere-se a ocorrência de eventos adversos que interferiram no alcance dessa capacidade máxima. No entanto, essa análise não possibilita identificar, com precisão, os motivos pelos quais o indicador não atingiu o escore máximo. Isso porque a região do MATOPIBA enfrenta riscos climáticos, além da possibilidade de mudança no uso do solo, o que pode resultar na substituição de uma cultura por outra. Esses são alguns dos elementos que podem contribuir para uma possível diminuição nos indicadores da região, que não foram possíveis de serem captados nesta pesquisa em função das fontes dos dados utilizados.

Após a elaboração dos indicadores que refletem estimativa do potencial de resiliência de cada cultura, esses indicadores foram empregados na formação do Índice de Resiliência (IRES) para cada cultura examinada. A metodologia adotada para determinar os pesos baseou-se na análise fatorial, utilizando a decomposição dos componentes principais, descritos na seção a seguir.

3.3 Decomposição em Componentes Principais (DCP)

Essa técnica pode ser empregada para criar índices e classificar indivíduos com base em suas variações, refletindo seu comportamento dentro da população. Em resumo, a análise de Decomposição em Componentes Principais (DCP) agrupa os indivíduos de uma população de acordo com a variação de suas características (Wilks, 2006).

De acordo com Fávero (2009), a decomposição em componentes principais trata-se de uma técnica estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis originais em um conjunto de variáveis chamadas de componentes principais. Esses componentes principais são combinações lineares das variáveis originais, independentes entre si, e são estimados para capturar o máximo de informação possível contida nos dados, em termos da variação total. A (DCP) é usada para reduzir a dimensionalidade dos dados, redistribuindo a variação observada nos eixos originais para obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados. Na rotação ortogonal, os eixos são mantidos em ângulo reto. O método mais utilizado para fazer rotação ortogonal é o processo varimax. Esse procedimento simplifica a estrutura dos componentes, permitindo que as variáveis tenham alta carga em um componente e baixa carga nos outros, o que facilita a interpretação e a identificação de padrões significativos nos dados. Em resumo, o método varimax permite obter uma estrutura mais clara e interpretação mais intuitiva, gerando componentes principais que são linearmente independentes ou ortogonais.

Na construção do IRES, os fatores são estimados e os escores fatoriais das dimensões latentes são extraídos, substituindo as variáveis originais. Os escores fatoriais resultantes apresentam distribuição simétrica em torno da média zero e variância um, o que permite que assumam valores tanto positivos quanto negativos (Sousa, 2023; King, 2001; Hair Junior et al., 2005). Para evitar valores negativos, todos os valores foram transformados em positivos sem considerar suas posições relativas, utilizando a equação (01):

$$F_i = \frac{F_{ij} - F_{min}}{F_{máx} - F_{min}} \quad (01)$$

Sendo:

F_{ij} = i-ésimo ($i = 1, 2, \dots, p$) escore fatorial associado ao j-ésima cultura;

F_{min} = valor mínimo, assumindo um valor negativo, associado pelo escore fatorial;

$F_{máx}$ = valor máximo, assumindo um valor positivo, assumido pelo escore fatorial;

Porém, o método descrito na equação (01) é aplicável somente em situações em que apenas um fator é estimado. Quando são estimados mais de um fator, a estratégia para construir o índice envolve a soma do produto da proporção da variância explicada por cada fator, conforme expresso na equação (02):

$$F_t = \sum F_{ij} a_{ij} \quad (02)$$

Sendo:

F_{ij} = i-ésimo ($j = 1, 2, \dots, p$) escore fatorial associado ao j-ésima cultura;

a_{ij} = proporção da variância explicada de cada fator.

O coeficiente é calculado pela soma das variâncias explicadas dos fatores estimados dividida pela proporção da variância de cada fator, em que a soma das proporções é igual a um. Consequentemente, o índice varia de zero a um. Para facilitar a interpretação e a visualização dos dados, eles são convertidos em valores percentuais, conforme descrito na equação (03).

$$IRES_{ij} = \left(\frac{F_t}{F_{máx}} \right) * 100 \quad (03)$$

A DCP tem suas limitações, especialmente em relação à interpretação dos componentes principais e à necessidade de validação dos resultados com outras técnicas estatísticas, por isso é frequentemente utilizada em conjunto com os testes KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e Bartlett para avaliar a adequação dos dados. O teste KMO avalia se os dados são apropriados para esse tipo de análise e fornece indicação de quão bem os dados se adequam à estrutura de correlação necessária para a DCP, apresentando resultados entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor a adequação dos dados para a análise fatorial. Por sua vez, o teste de esfericidade de Bartlett avalia se as correlações entre as variáveis observadas são estatisticamente significativas, ou seja, se as variáveis estão suficientemente correlacionadas para justificar a utilização da DCP. A hipótese nula do teste é que a matriz de correlação é uma matriz de identidade, o que significa que as variáveis são completamente não correlacionadas. Se o valor-p associado ao teste de Bartlett for menor que um nível de significância pré-definido (geralmente 0,05), a hipótese nula é rejeitada, indicando que as variáveis estão correlacionadas o suficiente para serem adequadas para a análise (Fávero et al., 2009). Esses testes são importantes para garantir que os dados sejam adequados para análise, criando condições sobre sua estrutura para fornecer resultados válidos e confiáveis.

Para uma compreensão mais abrangente da metodologia da Análise de Componentes Principais (ACP) e sua interpretação, recomenda-se consultar obras de referência como Wilks (2006), Bjornsson e Venegas (1997), Jolliffe (2002), Vicini e Souza (2005) e Hannachi et al. (2007).

3.4 Trajetória e nível de estabilidade do IRES

Após a estimação do IRES, foi analisada a trajetória da capacidade de recuperação das lavouras por meio da taxa geométrica de crescimento (TGC). Essa análise foi realizada utilizando um modelo de regressão simples, tendo como variável dependente o IRES e como variável independente o período em anos, conforme apresentado na equação (04).

$$IRES_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 T + \varepsilon_{it} \quad (04)$$

Sendo, o coeficiente linear; α_0 o coeficiente angular, e α_1 o erro aleatório que, por hipótese, atende aos pressupostos do modelo linear clássico. A TGC é aferida pela derivada da variável ($IRES_{it}$) em reação ao tempo “ T ”. Como a variável dependente está definida em percentuais, então o resultado dessa derivada, que é o coeficiente, será interpretado da seguinte forma: quando o Tempo variar de um ano, a variável dependente ($IRES_{it}$) variará de $\alpha_1\%$.

Para verificar a estabilidade do IRES de cada cultura e estado, a métrica aplicada consiste no coeficiente de variação do índice, expresso na equação (05):

$$FV = \frac{\sigma_{IRE}}{\mu_{IRES}} * 100 \quad (04)$$

A equação 05 mostra a razão entre o desvio padrão () e a média do índice de resiliência, multiplicada por 100 para expressar o resultado em porcentagem.

O coeficiente de variação é uma medida que afere a homogeneidade/heterogeneidade ou a estabilidade/instabilidade da distribuição dos valores de uma variável aleatória em torno da sua média. Quanto maior o CV, mais heterogênea ou mais instável será a distribuição dos valores da variável em torno da sua média. Nesse contexto, o CV pode ser entendido como medida de risco (GOMES, 1985; GARCIA, 1989).

Tabela 1 – Classificação do Coeficiente de Variação

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	Inferior 10%
Médio	Entre 10% e 20%
Alto	Entre 20% e 30%
Muito Alto	Superior a 30%

Fonte: GOMES, 1985; GARCIA, 1989).

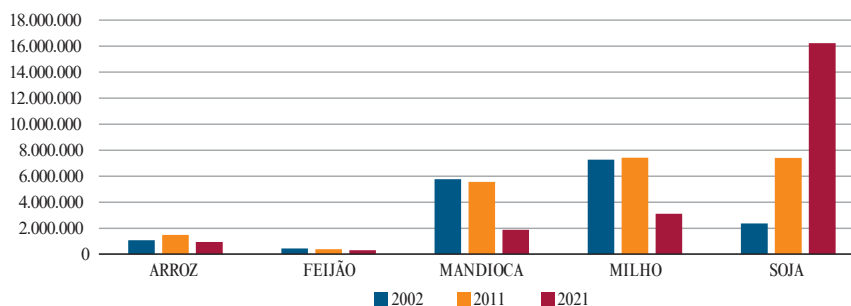
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evolução da produção das culturas de arroz, feijão, mandioca e milho no MATOPIBA entre os anos de 2002 e 2021

Nos últimos 20 anos, a contar a partir de 2002, o MATOPIBA experimentou aumento significativo na produção, impulsionado pela introdução de insumos e tecnologias avançadas, além de fortes incentivos tanto do setor público quanto privado. De acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) em 2022, a produção total cresceu 92%, passando de 18 milhões de toneladas (safra 2012/2013) para aproximadamente 35 milhões de toneladas.

De acordo com os dados do IBGE (2024), a cultura dominante na região é a soja, que em 2021 atingiu 16 milhões de toneladas cultivadas em uma área de 4,7 milhões de hectares, representando um aumento de 120% em relação a 2011. O milho é a segunda maior cultura em volume produzido no MATOPIBA, com 8,3 milhões de toneladas cultivadas em aproximadamente 2 milhões de hectares em 2021, marcando um crescimento de 125% na quantidade produzida desde 2011, quando foram produzidas 3,6 milhões de toneladas em 1,4 milhão de hectares. A expansão da área total colhida, considerando as culturas de arroz, feijão, mandioca, milho e soja, entre 2002 e 2021, foi de 61%, ressaltando o notável crescimento da atividade agrícola ao longo desse período. (Figura 1 e 2).

Figura 1 - Quantidade produzida de arroz, feijão, milho, mandioca, milho e soja: MATOPIBA (2002-2011-2021)



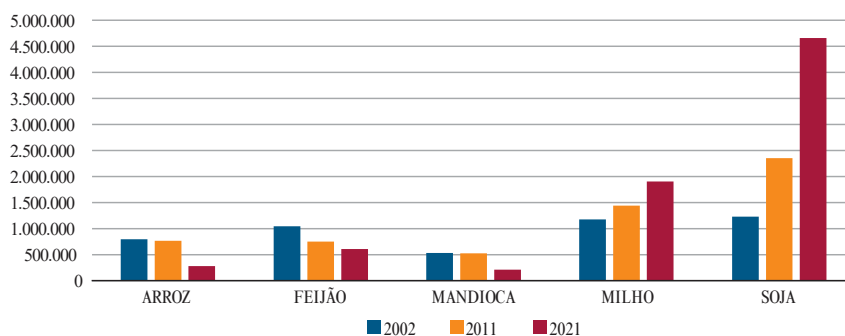
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa, com base nos dados IBGE (2024).

Em relação às demais culturas, arroz, feijão e mandioca apresentaram declínio em termos de produção e área. As lavouras de arroz apresentaram crescimento referente ao período 2002 a 2011; o volume produzido passou de 1,1 milhão de toneladas para 1,4 milhão toneladas, um aumento de 38,7%. Em termos de área colhida, no mesmo período, houve ligeira queda de 4%, indicando ganhos de produtividade. Contudo, na última década do período analisado, observou-se acentuada queda na área colhida, que diminuiu de 765 mil hectares para 277 mil hectares, uma redução de 65%.

O feijão teve uma produção de 435 mil toneladas em 2002, que caiu para 296 mil toneladas em 2021, resultando em queda de 32%. Em termos de área colhida, a diminuição foi de 42%. A mandioca também experimentou declínio significativo: a produção passou de 5,7 milhões de toneladas em 2002 para 1,8 milhão de toneladas em 2021, redução de aproximadamente 67%. A área plantada de mandioca recuou 60%, diminuindo de 531 mil hectares em 2002 para 209 mil hectares em 2021.

Esses resultados evidenciam a diminuição do cultivo de culturas alimentares de “mesa”. Embora soja e milho sejam consumidos de forma direta e indireta, essas culturas também servem como matéria-prima para uma ampla gama de produtos na indústria alimentícia e em outros setores industriais, como bebidas e combustíveis. Além disso, são amplamente utilizados na produção de rações e silagem. Dada sua versatilidade de aplicação, esses grãos possuem grande demanda externa.

Figura 2 – Área colhida de arroz, feijão, milho, mandioca, milho e soja: MATOPIBA (2002-2011-2021)



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa

No estudo conduzido por Mitidireo Junior e Goldfarb (2021), os autores destacam tendência semelhante a nível nacional. Em 1988, aproximadamente 24,7% da área do país era destinada à agricultura dos principais produtos da cesta básica, como arroz, feijão e mandioca. No entanto, em 2019, essa área caiu significativamente para 7,7%.

A crescente integração do agronegócio brasileiro aos mercados globais impulsiona a expansão da produção de commodities, como soja e milho, por meio de práticas de monocultura em larga escala. Esses modelos de negócio representam um desafio para a biodiversidade e contribuem para o desmatamento, dois fatores que apresentam riscos elevados para a segurança alimentar (Hannah et al., 2013; Thrupp, 2000).

4.2 Índice de Resiliência (IRES)

Após a elaboração dos índices parciais, realizou-se a estimação da decomposição de componentes principais para cada cultura (arroz, feijão, mandioca, milho e soja). De acordo com a Tabela 2, observa-se a quantidade de fatores extraídos que melhor representam as relações entre as variáveis ou aspectos analisados especificamente para cultura. Os coeficientes de comunalidades indicam o quanto cada variável contribui para o fator. Verificou-se que, na cultura da soja, o IVBPIB - índice parcial da relação entre VBP pelo PIB apresentou a maior relação com o fator desenvolvido durante o período analisado. Esse resultado enfatiza a importância do valor da cultura e o volume de produção para a formação do índice de resiliência relacionado ao cultivo de soja.

Tabela 2 – Resultados da análise da decomposição em componentes principais

Cultura	Comunalidades				Nº de componentes	Variância Explicada (%)	KMO	Teste Bartlett	
	IVBPIB	IPERC	IAREAC	IVBPAREA				Coefficiente	P-value
Arroz	0,848	0,890	0,888	0,001	2	91,85	0,66	208,23	0,000
Feijão	0,709	0,802	0,700	0,354	1	64,09	0,62	140,07	0,000
Mandioca	0,565	0,920	0,903	0,022	2	93,67	0,56	235,69	0,000
Milho	0,890	0,903	0,574	0,670	1	75,97	0,50	309,64	0,000
Soja	0,932	0,907	0,740	0,718	1	82,50	0,63	448,90	0,000

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

IVBPIB- índice parcial da relação entre VBP_i pelo PIB; **IPERC**_i - índice parcial de produção *per capita*. **IAREAC**_i – índice parcial da área colhida da i-ésima cultura; **IVBPAREAC**_i – índice parcial do valor bruto de produção pela área colhida da i-ésima cultura.

Em comparação com as outras culturas (arroz, feijão, mandioca e milho), o IPERC - Índice Parcial de Produção Per Capita demonstrou a maior correlação com o fator estimado. Esse resultado ressalta a significância da produção agrícola per capita na formação do índice de resiliência associado ao cultivo dessas culturas.

O teste de Kaiser-Meyer-Olkin, que avalia a adequação da amostra, confirma a adequação da técnica multivariada para cada cultura analisada. De forma complementar, o teste de esfericidade de Bartlett foi estimado com o propósito de validar os dados para realização da análise de decomposição em componentes principais. O *p-value* confirma que há existência de correlação entre as variáveis, condição necessária para utilização dessa técnica estatística.

Após a obtenção das estimativas dos escores fatoriais, foi calculado o Índice de Resiliência dos cultivos de arroz, feijão, mandioca, milho e soja na região do MATOPIBA. A Tabela 3 apresenta a capacidade de recuperação dessas cinco culturas nos quatro estados. O índice varia de zero a cem; quanto mais próximo de zero, menor é a capacidade de resiliência da cultura no referido estado, e quanto mais próximo de 100, maior é a capacidade de recuperação da cultura após a ocorrência de eventos adversos, que incluem as intempéries climáticas, como secas prolongadas e variações bruscas de temperatura, além da substituição de áreas cultivadas para o plantio de culturas voltadas à exportação, o abandono da agricultura familiar em busca de empregos remunerados, ataques de pragas e doenças, e a redução de áreas agrícolas devido à expansão do agronegócio intensivo em capital.

No período analisado, o índice de resiliência do cultivo de arroz revelou tendências distintas entre os estados da região. Apenas o estado do Tocantins apresentou trajetória de crescimento na resiliência, enquanto os demais estados registraram Taxas Geométricas de Crescimento (TGC) negativas. No Tocantins, o índice alcançou seu valor máximo em 2020 e o mínimo em 2006. Contudo, durante nove anos do período, a capacidade de recuperação das lavouras de arroz no estado permaneceu abaixo da média do IRES.

Na safra 2020/2021, segundo dados da Conab (2021), o Tocantins registrou produção de 636,2 mil toneladas, consolidando-se como o terceiro maior produtor de arroz no cenário nacional. Esse desempenho expressivo foi impulsionado por fatores como a adoção de tecnologias avançadas, o melhoramento genético de sementes, a utilização de sistemas de manejo mais eficientes e a forte organização e atuação da cadeia produtiva (Fragoso et al., 2021).

Tabela 3 – IRES para as culturas Arroz, feijão, Mandioca, Milho e Soja na região do MATOPIBA

ANO	ARROZ				FEIJÃO				MANDIOCA				MILHO				SOJA			
	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA	MA	TO	PI	BA
2002	77,24	49,67	41,86	51,24	86,05	0,00	54,53	99,74	59,73	34,45	50,08	93,86	15,38	3,23	0,00	46,51	17,16	7,90	0,00	20,56
2003	84,44	67,82	81,45	53,08	90,88	52,11	84,26	94,92	64,62	52,72	62,83	89,45	20,61	10,88	11,07	57,22	28,74	17,30	15,82	25,58
2004	93,17	66,13	79,68	86,97	96,82	8,61	64,65	78,85	70,64	52,50	81,25	85,93	18,45	5,86	2,99	60,88	28,36	25,25	20,42	35,02
2005	69,15	57,10	75,11	79,15	88,41	22,46	70,92	94,73	72,32	58,17	65,97	60,02	16,60	3,38	5,79	53,62	29,13	24,51	19,70	27,17
2006	67,05	33,76	58,12	24,54	100,00	21,51	88,96	70,53	74,75	55,81	71,50	58,15	17,38	1,78	7,33	41,21	19,15	15,99	13,04	19,43
2007	67,93	47,90	53,90	35,46	89,69	22,34	56,30	97,05	82,73	58,36	78,91	59,84	19,26	4,83	5,54	63,51	21,73	17,74	12,17	26,55
2008	81,59	57,68	79,83	54,21	99,85	56,09	90,77	83,02	92,68	52,75	69,80	58,15	19,58	16,06	13,59	65,46	42,09	28,86	32,38	35,09
2009	64,16	49,33	71,71	67,95	95,40	78,39	72,17	60,10	64,25	55,89	72,42	49,62	17,58	10,95	20,58	63,53	35,70	26,15	27,37	29,28
2010	59,06	49,61	42,06	38,86	79,19	76,05	44,20	73,52	77,56	52,19	70,02	46,46	18,72	10,74	10,62	65,61	36,43	24,37	22,08	31,30
2011	67,39	49,49	78,52	39,28	93,31	68,64	94,28	43,35	81,81	48,91	61,78	41,82	26,83	18,93	28,21	61,15	38,63	29,88	33,72	38,52
2012	46,09	37,19	43,77	31,86	79,07	60,31	41,97	24,90	71,93	42,95	48,81	36,72	30,35	18,50	30,19	59,09	40,66	32,51	35,86	38,41
2013	49,19	49,52	35,44	24,17	88,96	32,58	64,06	48,06	78,94	37,74	30,79	32,33	49,69	12,21	15,89	57,16	40,00	35,81	28,17	31,87
2014	54,51	49,17	47,61	17,90	90,91	17,60	64,41	55,81	74,37	31,47	29,06	37,90	49,56	19,04	35,40	71,91	46,56	49,59	43,75	37,77
2015	33,73	56,52	35,04	15,12	81,88	8,24	55,10	68,38	62,93	36,13	38,39	34,77	42,88	28,04	33,12	67,28	49,56	49,77	48,03	48,90
2016	21,49	56,41	19,49	13,87	65,92	25,44	34,71	43,47	50,23	38,28	37,64	34,61	26,21	27,08	27,45	52,14	32,88	43,15	21,94	38,58
2017	32,56	57,86	39,48	20,06	78,93	17,50	91,86	23,10	38,42	38,05	45,37	23,00	45,77	36,28	49,96	45,08	53,05	49,50	55,19	53,75
2018	26,97	63,54	39,11	16,52	56,36	31,84	95,33	22,30	30,27	44,78	51,89	18,86	41,04	35,73	50,86	57,12	63,89	53,56	64,92	65,59
2019	23,72	58,40	32,33	12,56	52,17	39,69	78,91	33,61	20,66	37,31	47,92	17,26	52,42	47,44	56,57	49,03	63,32	53,45	58,94	55,61
2020	24,22	79,41	41,28	23,71	48,69	57,54	97,66	46,10	19,03	69,32	58,76	15,95	74,36	80,19	77,99	86,33	82,96	70,53	68,22	75,76
2021	34,35	70,52	42,56	24,01	51,60	95,65	68,04	40,03	20,56	84,78	61,87	18,78	96,59	100,00	99,33	88,87	100,00	100,00	100,00	100,00
IRES Médio	53,90	55,35	51,92	36,53	80,70	39,63	70,65	60,08	60,42	49,13	56,75	45,67	34,96	24,56	29,12	60,64	43,50	37,79	36,09	41,74
CV (%)	41,70	19,59	36,69	60,80	20,74	67,78	27,15	42,93	37,64	26,61	27,30	52,23	62,33	105,02	90,85	20,05	48,27	57,26	66,44	48,10
IRES Máx.	93,17	79,41	81,45	86,97	100,00	95,65	97,66	99,74	92,68	84,78	81,25	93,86	96,59	100,00	99,33	88,87	100,00	100,00	100,00	100,00
IRES Min.	21,49	33,76	19,49	12,56	48,69	0,00	34,71	22,30	19,03	31,47	29,06	15,95	15,38	1,78	0,00	41,21	17,16	7,90	0,00	19,43
TGC (%a.a.)	-3,50	0,67	-2,14	-2,83	-2,28	1,28	0,43	-3,61	-2,76	0,52	-1,32	-3,85	3,07	3,59	4,00	0,85	3,05	3,27	3,55	2,85

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

O estado da Bahia registrou o menor IRES médio, seguido pelos estados do Maranhão e Piauí. Quanto ao coeficiente de variação, a Bahia apresenta o maior registro, indicando a maior instabilidade na capacidade de recuperação dessa cultura na região do MATOPIBA.

Os resultados do IRES para o cultivo do feijão mostram que os estados do Maranhão e da Bahia apresentaram tendência negativa de evolução do índice, evidenciando dificuldades na capacidade de recuperação dessa cultura alimentar. Em contrapartida, os estados do Tocantins e Piauí apresentaram tendência positiva do IRES, indicando a presença da capacidade de recuperação após choques que impactam diretamente na capacidade produtiva. Verifica-se que o maior IRES médio ocorreu no Maranhão, seguido pelo estado do Piauí.

Para as lavouras de mandioca, observa-se que os estados do Maranhão, Bahia e Piauí apresentam tendência decrescente no IRES ao longo dos anos, indicando perda na capacidade de recuperação. Essa afirmação é validada pelos coeficientes negativos da TGC para esses estados, sugerindo redução na capacidade de recuperação ao longo do tempo. Por outro lado, o estado do Tocantins demonstra persistência na capacidade de recuperação, com TGC positiva. Em 2014, o estado do Tocantins registrou o menor valor do índice de resiliência, apresentando trajetória de crescimento nos anos subsequentes, culminando em seu valor máximo em 2021. Esse resultado pode ser atribuído a uma série de ações promovidas por políticas de incentivo do Governo do Tocantins, em parceria com o Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), a Embrapa e os produtores rurais. Essas iniciativas têm fortalecido a cadeia produtiva da mandioca, com destaque para a formação de uma rede de multiplicação e transferência de mudas sadias, contribuindo para o aumento da produtividade e a resiliência da cultura no estado (Spricigo, 2021).

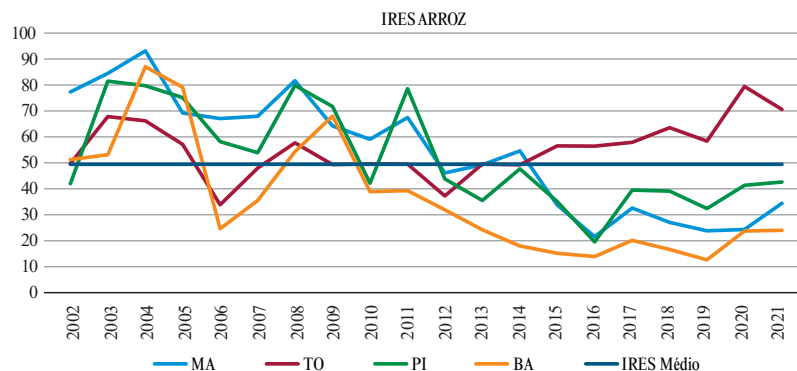
Os resultados referentes ao cultivo de milho revelam tendência crescente na capacidade de recuperação dessa cultura em toda a região do MATOPIBA, conforme indicado pelos coeficientes positivos da TGC. O estado do Piauí destaca-se por apresentar a taxa de crescimento mais elevada. Em contrapartida, o estado da Bahia apresentou a menor TGC.

Assim como observado no cultivo de milho, a soja apresenta tendência crescente na capacidade de recuperação ao longo do período analisado. Esses resultados são evidenciados pelo coeficiente positivo da TGC para todos os estados analisados. Novamente, o estado do Piauí destaca-se por apresentar a maior TGC. O ano de 2002 corresponde ao pior desempenho do índice para todos os estados. Nesse período, o Brasil enfrentou uma desvalorização cambial acentuada e taxas de juros elevadas, fatores que aumentaram consideravelmente os custos dos insumos agrícolas e restringiram o acesso ao crédito pelos produtores. Essa conjuntura de instabilidade também desestimulou investimentos no setor agrícola, agravando os desafios enfrentados pelos agricultores e comprometendo a resiliência das lavouras de soja, (BACEN, 2002; Pitta et al., 2018).

A capacidade de recuperação das culturas de milho e soja pode ser atribuída à crescente demanda mundial por essas commodities, o que impulsiona investimentos no setor. Além disso, políticas públicas têm desempenhado papel significativo nesse cenário, incluindo subsídios estatais na forma de crédito e seguro agrícola, isenções fiscais e investimentos em infraestrutura básica para o sistema produtivo, como energia e estradas. Esses fatores criam um ambiente mais favorável para a expansão e recuperação dessas culturas na região do MATOPIBA, (Mathias, 2017; Fian, 2018).

A Figura 3 apresenta a trajetória do Índice de Resiliência (IRES) para a cultura do arroz, evidenciando tendência de queda nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Os elevados coeficientes de variação observados indicam alta instabilidade do IRES nesses estados ao longo das últimas duas décadas. Essa instabilidade pode ser atribuída a uma combinação de fatores estruturais, econômicos e ambientais que comprometem a sustentabilidade dessa atividade agrícola. Além disso, o gráfico revela que os estados com menores IRES médios são os mesmos que apresentam os maiores percentuais de instabilidade, destacando a vulnerabilidade do cultivo do arroz nessas regiões.

Figura 3 – Índice de resiliência agrícola – Arroz



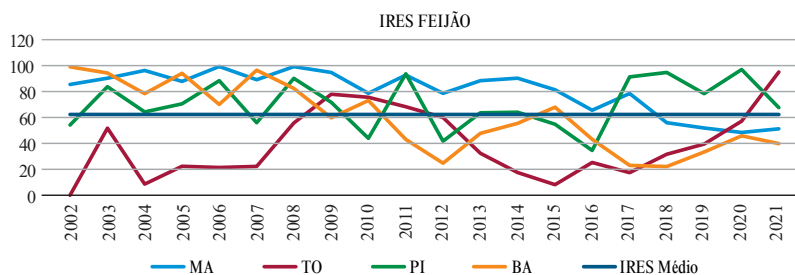
Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

O destaque vai para o estado do Tocantins, que apresenta tendência de alta, embora com nível médio de instabilidade. A partir de 2014, o índice de resiliência desse estado supera a média obtida pelos quatro estados. Esses resultados estão em consonância com as descobertas feitas por Carneiro et al (2006), que destacam o contínuo deslocamento da produção de áreas tradicionais, especialmente do Maranhão, Piauí e Bahia, para o oeste do Tocantins. Nessa região, a cultura é conduzida com base em novas práticas de manejo, mais intensivas em tecnologia e capital, resultando na redução do caráter de subsistência da agricultura.

A figura 4 apresenta a trajetória do IRES para a cultura do feijão ao longo do período analisado. O estado do Tocantins desde 2017 apresenta tendência consistente de alta, embora a análise do coeficiente de variação revele instabilidade na capacidade de recuperação agrícola muito alta (67,78%) para o estado de Tocantins. Embora o índice de resiliência do estado do Piauí tenha se mantido acima da média

durante grande parte do período analisado, no último ano observou-se tendência de queda. Os estados do Maranhão e Bahia apresentam trajetória de queda, encerrando o período de análise com um IRES abaixo da média geral dessa cultura na região de fronteira.

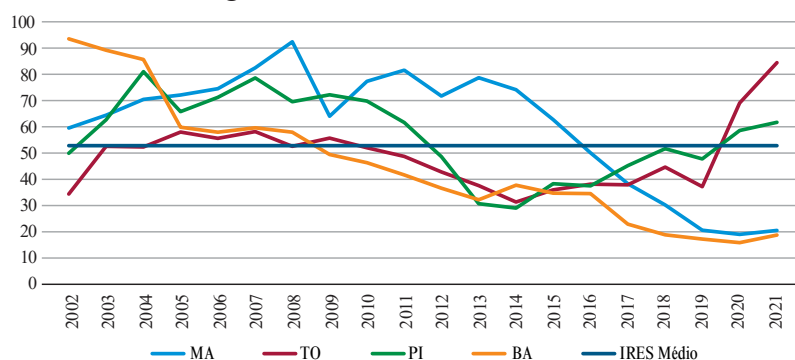
Figura 4 – Índice de resiliência agrícola – Feijão



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A trajetória do IRES da mandioca é expressa na figura 5. Tocantins e Piauí, novamente, apresentam tendência crescente a partir de 2015, superando a média geral do índice estimado para essa cultura em 2020, enquanto Maranhão e Bahia seguem tendência decrescente em praticamente todos os anos investigados. Em relação à homogeneidade aferida a partir do IRES, o estado do Tocantins apresenta, para o período analisado, trajetória estável, com CV de 9,41%. Os estados do Maranhão e Bahia apresentam os maiores percentuais de instabilidade, sendo 37,64% e 52,23%, respectivamente.

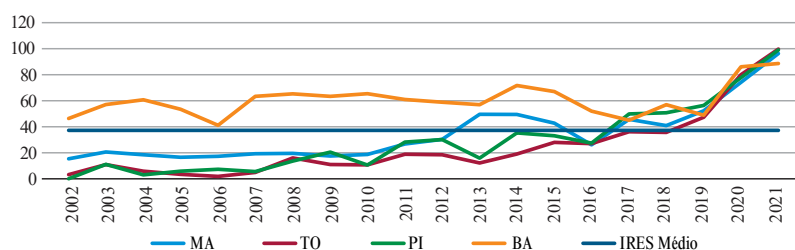
Figura 5 – Índice de resiliência agrícola – Mandioca



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

A Figura 6 apresenta a trajetória do IRES estimado para a cultura do milho, indicando tendência crescente em todos os estados analisados. O índice de resiliência do estado da Bahia permaneceu acima do IRES médio durante todo o período analisado, demonstrando desempenho consistente na capacidade de recuperação. Os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí exibem coeficientes de variação classificados como muito altos, indicando maior instabilidade ao longo do período analisado nesses estados.

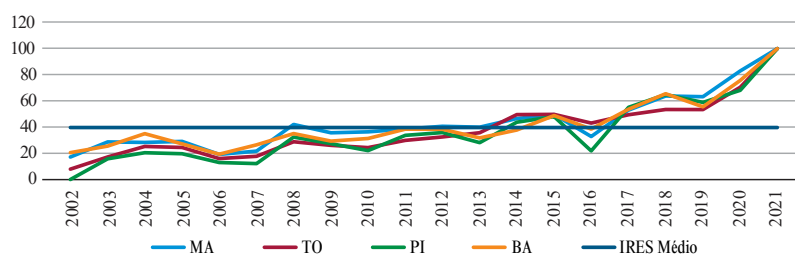
Figura 6 – Índice de resiliência agrícola – Milho



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Análoga à trajetória do milho, o IRES estimado da soja apresenta trajetória crescente, como era esperado. Em termos de instabilidade, os coeficientes de variação são classificados como muito altos, ou seja, superiores a 30% para todos os estados analisados. A partir de 2017, os IRES estimados de todos os estados superaram o respectivo IRES médio.

Figura 7 – Índice de resiliência agrícola – Soja



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

As culturas de arroz, feijão e mandioca experimentaram redução na capacidade de recuperação entre 2002 e 2021 nos estados do Maranhão, Piauí e Bahia. Essas culturas, especialmente o arroz e o feijão, são elementos essenciais na dieta dos brasileiros. Uma diminuição na produção, sendo provocada por problemas climáticas, pragas ou à alteração na ocupação do solo (como a substituição de culturas), tem impacto significativo na dinâmica do abastecimento local e, conseqüentemente, na garantia da segurança alimentar. Além disso, de acordo com os dados fornecidos pela CONAB (2024), os estoques públicos de arroz e feijão foram drasticamente reduzidos em 2016 e permanecem zerados desde 2017.

O milho e a soja, por sua vez, apresentaram consistente capacidade de recuperação em todos os estados. Esse desempenho pode estar associado ao fato de essas culturas terem um mercado internacionalizado e negociarem contratos futuros, o que oferece uma opção mais segura para os produtores em comparação com gêneros básicos como feijão e mandioca, que se restringem basicamente ao mercado interno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou analisar as capacidades de recuperação das culturas alimentares tradicionais, visa a vis aquela associada ao cultivo da soja nos estados que fazem parte da região de fronteira agrícola do MATOPIB. A tentativa foi feita por meio da construção do Índice de resiliência (IRES) para as culturas de arroz, feijão, mandioca

e milho, uma vez que essas culturas continuam sendo os principais produtos da cesta alimentar, tendo em vista o avanço do cultivo da soja nessas áreas. Em detrimento das condições climáticas e estresse hídrico em algumas partes da região e em função das transformações no modelo de agricultura, priorizando culturas voltadas para as exportações, surge um novo desafio, dado que essas mudanças têm impacto direto na segurança e soberania alimentar.

Os resultados indicam que apenas o estado do Tocantins demonstra capacidade de recuperação para todas as culturas analisadas. Por outro lado, os estados da Bahia e Maranhão apresentaram tendência de queda na capacidade de recuperação para os cultivos de arroz, feijão e mandioca. Em termos de padrões de estabilidade da capacidade de recuperação para essas culturas, esses estados mostraram os maiores riscos, conforme evidenciado pelos maiores coeficientes de variação.

Em relação ao cultivo de milho e soja, para os quatro estados, observou-se tendência de crescimento na capacidade de recuperação. Esse resultado corrobora com a literatura, uma vez que se trata de commodities de alta importância econômica caracterizadas por sua versatilidade de utilização, desde alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Entretanto, os resultados apresentados sinalizam um obstáculo para a manutenção da segurança alimentar ancorada nas lavouras de arroz, feijão e mandioca, uma vez que nas últimas décadas o modelo agrícola tem priorizado o cultivo de culturas com maior potencial exportável. As conseqüências da manutenção desse modelo recaem, sobretudo nos mercados locais, resultando no aumento de preços, numa maior escassez e na piora da segurança alimentar de comunidades inteiras.

Adicionalmente, a substituição de agriculturas de pequena escala, mais tradicionais, por monoculturas, como soja e milho, pode acarretar outras possíveis conseqüências. Isso inclui

a perda de biodiversidade, aumento do desmatamento, bem como a contaminação de solos e águas. Soma-se a isso a drástica queda na formação de estoques públicos, que nos últimos seis anos têm se mantido inoperantes, segundo dados da CONAB.

Diante disso, dada a complexidade da pauta de manutenção da segurança alimentar, faz-se necessária a articulação de políticas de fomento à produção agrícola para cultivos alimentares, aperfeiçoando e incrementando medidas de curto e médio prazo que vão além do acesso crédito rural, como a ampliação das assistências técnicas e extensões rurais, até o desenvolvimento de práticas e produtos voltados para mitigação e gestão dos riscos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A.; KOOHAFKAN, P. **Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities**. 6. ed. Penang, Malaysia: Third World Network, 2008. 58 p.

BACEN - BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório da Administração (2002)**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/htms/reladmBC2002/RelatorioAdmBC2002.pdf>. Acesso: 04 jun. 2024. 2002.

CARNEIRO, W. M. A.; NARCISO SOBRINHO, J.; COELHO, M. do C. S. **Grãos nos cerrados nordestinos: produção, mercado e estruturação das principais cadeias**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2006. n. 8. (Série Documentos do Etene).

CONSELHO NACIONAL DE SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL. II Conferência Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Olinda: CONSEA, 2004 (Relatório final).

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**. Safra 2020/21. Brasília, DF: CONAB, v. 13, n. 6, p. 1-106, 2021.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2023/24. Brasília, DF: CONAB, v. 11, n. 7, 2024, p 1-117, 2024.

CUNHA, D. A.; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; SOUZA, E. C.; Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Economia e Sociologia Rural**. Piracicaba - SP, v. 51, n. 2, p. 369-386, abr./jun. 2013.

ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

FÁVERO, L. P.; BELFIONE, P.; SILVA, F.L.; CHAN, B.L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. 2 ed. Rio de Janeiro. Elsevier Editora Ltda, 2009. 641p.

FEITOSA, M. M.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTO, L.; LEMOS, J. de J. S. A soja no estado do Maranhão, Brasil: uma análise temporal da expansão e substituição das culturas alimentares. **Geografares**, Vitória, Brasil, v. 3, n. 37, p. 114–131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/geo.v3i37.40394>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FRAGOSO, D. De B.; HIDEO, N. R. P.; CARVALHO, da R., R. N.; ALVES, C. E. Contribuição das cultivares de arroz da embrapa na produção de arroz irrigado no estado do Tocantins. **Agri-Environmental Sciences**, v. 7, n. 2, p. 6, 14 jun. 2021.

FIAN BRASIL. **Custo Ambientais e humanos do negócio de terras: O caso do Matopiba.** 2018. Disponível em: campanhacerrado.org.br/images/biblioteca/custos-ambientais-humanos-negocios-terra-matopiba-brasil.pdf. Acesso em 05 fev. 2024.

FLEXOR, G.; KATO, K.; LEITE, S. P. **Transformações na agricultura brasileira e os desafios para a segurança alimentar e nutricional no século XXI.** Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2022. 43 p. (Textos para Discussão, n. 82). Disponível em: <https://arca.fiocruz.br/handle/icict/52399>. Acesso em 05 fev. 2024.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação.** Piracicaba: Ipef, 1989. p.12. (Circular técnica, 171).

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, p. 467. 1985.

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANNAH, L.; IKEGAMI, M.; HOLE, D. G.; SEO, C.; BUTCHART, S. H. M.; PETERSON, A. T.; ROEHRDANZ, P. R. Global climate change adaptation priorities for biodiversity and food security. **PLoS One**, v. 8, n. 8, e72590, 2013.

HUNGRIA, M. **Segurança alimentar e nutricional: o papel da ciência brasileira no combate à fome.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2024. Disponível em: <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Seguranca-Alimentar-e-Nutricional-O-Papel-da-Ciencia-Brasileira-no-Combate-a-Fome-LIVRO-ABC-2024.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos.** Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/resultados-definitivos.html>. Acesso em: 02/04/2024.

KING, G. How not to lie with statistics: Avoiding common mistakes in quantitative political science. **American Journal of Political Science**, New York, n. 30, p. 666-687, 2001.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da Exclusão Social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre.** 3.ed. Revisada e atualizada. Fortaleza. Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

_____. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. **Revista de Política Agrícola.** Ano XXIV, n. 26, abr./jun., 2015.

LIRA, J. S. de; LEMOS, J. J. S.; LIMA, P. V. P. S. Capacidade de recuperação da agricultura familiar do Nordeste brasileiro: uma análise para o período 1990 - 2012. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, n. 4, p. 107-121, 2017. <https://doi.org/10.61673/ren.2016.621>.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. **Matopiba: quadro natural.** Nota técnica, Campinas, n. 5, p. 1-41, dez. 2014. (Embrapa).

MALUF, R.; MENEZES, F. Caderno Segurança Alimentar. 2002. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/seguranca+alimentar_000gvxlxe0q02wx7ha0g934vgwlj72d2.pdf . Acesso em: 6 abr. 2024.

MATHIAS, M. **Matopiba**: na fronteira entre a vida e o capital. Rio de Janeiro: EPSJV/Fiocruz, 2017.

MITIDIERO Jr., M. A.; GOLDFARB, Y. **O agro não é tech, o agro não é pop e muito menos tudo**. Abra. Disponível em: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/18319-20211027.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2024.

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71, p. 301-327, abr. 2019. Dossiê Agronegócios no Brasil.

OLIVEIRA, A. J. P.; SOUSA, F. J. P. A desconcentração industrial e o Nordeste: do estado desenvolvimentista a globalização. In: **A economia do Nordeste na fase contemporânea**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006, p. 101-130.

PITTA, F. T., MENDONÇA, M. L.; BOECHAT, C. A. A produção do espaço na região do MATOPIBA: violência, transnacionais imobiliárias agrícolas e capital fictício. **Estudos Internacionais: Revista De relações Internacionais Da PUC Minas**, v. 5, n. 2, p. 155-179, 2018. <https://doi.org/10.5752/P.2317-773X.2017v5n2p155>

SICSÚ, A. B.; LIMA, J. P. R. Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 109-138, jul. 2000.

SOUSA, E. Costa. **Regionalização climática e projeções da produção per capita de lavouras alimentares de sequeiro no estado do Maranhão**. 2023. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

SPRICIGO.C. Variedades de mandioca com alta produtividade serão apresentadas pelo Ruraltins na Agrotins 2021 100% Digital. Secretaria da Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/variedades-de-mandioca-com-alta-produtividade-serao-apresentadas-pelo-ruraltins-na-agrotins-2021-100-digital/13a4bz4bm8hq#:~:text=No%20Tocantins%2C%20segundo%20dados%20do,cultivada%20em%2014.181%20estabelecimentos%20rurais> . Acesso em 30 de out. 2024.

THRUPP, L. A. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. **International Affairs**, v. 76, n. 2, p. 265–281, 2000.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Expansão da fronteira agrícola no Brasil**: desafios e perspectivas. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2016.

WILKS, D. **Statistical Methods in the Atmosphere Science**. 2. Burlington, MA: Academic Press, 2006. 627 p. (International Geophysics Series, v. 91).

DETERMINANTES DA COMPLEXIDADE ECONÔMICA EM ECONOMIAS BASEADAS EM RECURSOS NATURAIS: UMA ANÁLISE COM DADOS DOS ESTADOS BRASILEIROS¹

Complexity economic determinants in natural resource-based economies: an analysis with Brazilian States data

Rafael Moraes de Sousa

Economista. Doutor em Economia. Professor da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará - Brasil. rafaelmsousa1@hotmail.com

Michele Poline Veríssimo

Economista. Doutora em Economia. Professora do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Av. João Naves de Ávila, 2121. Bloco 1J. Santa Mônica. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. CEP: 38408-100. micheleverissimo@ufu.br

Resumo: Este artigo analisa os fatores determinantes da sofisticação produtiva a longo prazo em economias exportadoras de bens primários e baseados em recursos naturais. Assim, são investigados os efeitos da pauta exportadora baseada em recursos naturais (participação, concentração e valor exportado), capital humano, infraestrutura, investimento, diversificação produtiva, renda e abertura comercial sobre a complexidade econômica. A metodologia utilizada envolve estimação de um painel de cointegração *Pooled Mean Group* (PMG) para a amostra composta pelas 27 unidades federativas brasileiras com dados anuais do período de 2002 a 2017. Os resultados sugerem que significativa concentração de recursos naturais na pauta exportadora, bem como forte direcionamento produtivo intensificando a dependência em recursos naturais, obstaculizam a sofisticação produtiva e exercem efeitos desfavoráveis a uma transição benéfica que torne uma economia mais diversificada e não ubíqua no longo prazo.

Palavras-chave: Determinantes, Complexidade, Recursos naturais, Painel ARDL.

Abstract: This paper analyzes the determinant factors of long run productive sophistication in economies that export primary and natural resource-based goods. Thus, it investigates the effects of a natural resources export basket based (share, concentration and exported value), human capital, infrastructure, investment, productive diversification, income and trade opening on economic complexity. The methodology involves estimating a Pooled Mean Group (PMG) cointegration panel for the sample of the 27 Brazilian federative units with annual data from 2002 to 2017. The results suggest that an export basket significantly concentrated in natural resources, as well as a strong productive direction that intensifies the dependence on natural resources, can hinder productive sophistication and exert unfavorable effects on a beneficial transition that makes an economy more diversified and not ubiquitous in the long run.

Keywords: Determinants, Complexity, Natural resources, ARDL panel.

¹ Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte à pesquisa.

1 INTRODUÇÃO

A literatura estruturalista enfatiza que o desenvolvimento econômico requer uma transformação radical na configuração produtiva para suprimir obstáculos, gargalos e outras rigidezes do subdesenvolvimento, promovendo a realocação da produção dos setores de baixa para os de alta produtividade em que prevalecem retornos crescentes de escala, fortes adensamentos de conhecimento e transbordamentos de capacidades produtivas. Nesse sentido, a forte concentração produtiva e exportadora em recursos naturais tem ocasionado intenso debate sobre as perspectivas de desenvolvimento da economia brasileira, visto a dificuldade de alavancagem da sofisticação produtiva a partir da especialização baseada em bens primários.

A abordagem da “Complexidade Econômica” proposta por Hidalgo e Hausmann (2009) pressupõe que a estrutura produtiva de uma economia é determinada pelo conjunto de capacidades (*capabilities*) necessárias para se produzir um bem. Quanto mais complexas, ou seja, mais diversas e exclusivas, são tais capacidades, maior a possibilidade de desenvolvimento de produtos novos a partir delas pelo princípio da coexportação (*product space*). Isto posto, o tipo de especialização produtiva pode apresentar efeitos distintos sobre o crescimento econômico, visto que alguns produtos possuem rede densa de conexões, ajudando o país (ou região) a desenvolver várias capacidades, enquanto outros não possuem o mesmo efeito.

Assumindo, conforme a abordagem da Complexidade Econômica, que a forte concentração da estrutura produtiva em recursos naturais pode atuar como obstáculo ao processo de sofisticação da economia, constituindo empecilho à convergência de renda no longo prazo, este artigo tem como objetivo investigar os fatores determinantes da sofisticação produtiva em economias especializadas em bens primários ou baseados em recursos naturais. Parte-se da hipótese de que existem fatores estruturais (infraestrutura, capital humano, diversidade produtiva, renda, abertura comercial) que determinam a baixa complexidade econômica e dificultam a transição para uma estrutura produtiva e exportadora mais complexa. Para efetivar a investigação proposta, a metodologia empregada consiste na estimação de modelos de cointegração com dados em painel – *Pooled Mean Group* (PMG) – com informações anuais do Índice de Complexidade Econômica (ECI) fornecidos pelo Instituto DATAVIVA para as 27 unidades federativas do Brasil no período de 2002 a 2017.

O trabalho contribui com a literatura na medida em que utiliza três variáveis alternativas de especialização em recursos naturais, que foram elaboradas a partir da classificação das exportações de cada unidade federativa do país, conforme Lall (2000), para avaliar os efeitos da configuração produtiva sobre a sofisticação produtiva (ECI): i) a concentração de recursos naturais na pauta das exportações; ii) a participação das exportações de recursos naturais no Produto Interno Bruto (PIB); iii) o valor exportado de recursos naturais. Assim, os resultados podem indicar se a especialização em recursos naturais é prejudicial ao processo de sofisticação produtiva no longo prazo e lançar luz à elaboração de estratégias que possam alterar tal cenário.

O artigo está organizado cinco seções, além da introdução e das considerações finais. A segunda seção apresenta os aspectos teóricos e empíricos que dão suporte à elaboração dos modelos empíricos. A terceira seção descreve os indicadores de perfil exportador e sofisticação produtiva dos estados brasileiros. A quarta seção apresenta as estratégias metodológicas empregadas. A quinta seção discute os resultados obtidos.

2 RECURSOS NATURAIS, DIVERSIFICAÇÃO E SOFISTICAÇÃO PRODUTIVA: ASPECTOS TEÓRICOS E EVIDÊNCIAS

Estudiosos sobre os efeitos do padrão de especialização produtiva ao crescimento e desenvolvimento econômico têm se preocupado com metodologias destinadas a investigar a relação entre abundância/dependência de recursos naturais e as dificuldades provenientes em gerar diversificação produtiva. Nesse sentido, torna-se relevante interpretar a intensidade em que os recursos naturais deixam as economias vinculadas aos efeitos associados à dotação de fatores primários na estrutura produtiva e exportadora e ao arranjo institucional vigente, dificultando o alcance de estruturas mais complexas e sofisticadas.

Diante disso, discussões sobre composição, direcionamento e dependência da estrutura produtiva em recursos naturais tomaram novo vigor a partir do desenvolvimento da abordagem da Complexidade Econômica proposta por Hidalgo e Hausmann (2009).

A discussão da complexidade econômica complementa metodologicamente o argumento de que o tipo de especialização produtiva tem diferentes consequências sobre o crescimento econômico no longo prazo, uma vez que alguns produtos possuem uma rede densa de conexões, ajudando o país (região) a desenvolver várias capacidades (*capabilities*), enquanto outros não possuem o mesmo efeito.

Assumindo que as vantagens comparativas são reveladoras do grau de especialização produtiva, Hidalgo e Hausmann (2009) observam que, se uma economia consegue exportar determinado produto com vantagem comparativa, ela reúne as *capabilities* necessárias para sua produção. Isso ocorre porque: i) produtos exigem combinações específicas de *capabilities*; ii) países (regiões) possuem quantidades limitadas de *capabilities*; iii) países (regiões) produzirão novos produtos à medida que se tornam hábeis em reunir novas *capabilities* e condições estruturais suficientes para sua produção. Por conseguinte, a complexidade está relacionada à capacidade de diversificar e reunir habilidades exclusivas (não ubíquas) dos produtos exportados. Nessa perspectiva, o perfil exportador é a representação do direcionamento da estrutura produtiva e da concentração das habilidades locais – conhecimento, intensidade tecnológica, sistema de inovações, dentre outras – disponíveis em uma economia. Logo, é razoável atentar para a associação existente entre estruturas produtivas concentradas em recursos naturais com uma perspectiva de longo prazo de baixa complexidade econômica, e, portanto, reduzidos efeitos estimuladores sobre o crescimento econômico (Hidalgo; Hausmann, 2009; Camargo; Gala, 2017).

A relação entre concentração em recursos naturais e baixa sofisticação pode ser percebida pela perspectiva da ubiquidade e da *quiescence trap*. A especialização em recursos naturais, quando percebida para além da abundância na dotação de fatores que garante a vantagem comparativa, pode ser entendida como a exploração de atividades com *capabilities* facilmente reproduzíveis e encontrada na maior gama de países. Por exemplo, a partir de dados do OEC (2022), o petróleo bruto em 2020 foi o terceiro produto mais exportado no mundo, no entanto, no *ranking* de complexidade do produto, o bem se encontrava na posição 1.020 de 1.028 produtos listados. Ainda que a dinâmica de exportação do petróleo bruto possa ser concentrada basicamente em 21 países, outros 152 apresentaram valores de exportações para o bem, logo, o produto apresenta ubiquidade elevada. Cabe destacar o predomínio de produtos baseados em recursos naturais no *ranking* dos produtos com menores índices de complexidade do produto (PCI), tais como petróleo bruto, minério de alumínio, algodão bruto, minério de manganês, minérios de estanho, minério de cromo, dentre outros.

Por esse ângulo, o tipo de diversificação produtiva é importante, pois “países pouco diversificados fazem produtos que são, em média, produzidos por muitos outros países, enquanto países muito diversificados fazem produtos que são feitos, em média, por poucos outros países” (Hausmann; Hidalgo, 2010, p. 4). Assim, a trajetória de crescimento de longo prazo torna-se vinculada à capacidade de as economias tornarem-se mais complexas (diversificadas e não ubíquas), de forma que a sofisticação produtiva dos países (regiões) está correlacionada com a renda. Os desvios dessa relação são fatores preditivos de crescimento futuro, sugerindo que os países (regiões) tendem a convergir para um nível de renda associado às *capabilities* desenvolvidas localmente, tidas como capacidades não comercializáveis (*skills non-tradeables*) (Hidalgo *et al.*, 2007; Hidalgo; Hausmann, 2009; Hidalgo, 2021).

Diante do caráter preditivo das trajetórias de crescimento de longo prazo associadas às possibilidades de sofisticação produtiva, a persistente composição da estrutura produtiva em recursos naturais pode conduzir as economias à chamada *quiescence trap*. Esta ocorre porque a escalada de uma economia está subordinada à busca pela complementaridade de capacidades. Economias com baixa sofisticação tendem a se deparar com maiores dificuldades para reunir e aplicar *capabilities* em contraste com aquelas que já apresentam estrutura produtiva sofisticada.

Assim, em um cenário de *capabilities* restritas ou concentradas em atividades de baixo adensamento, as chances de desenvolver novas habilidades e gerar adensamento produtivo com outras capacidades que resultem em novos produtos são menos exitosas, configurando o que Hausmann e Hidalgo (2011) qualificam como a *quiescence trap*". Essa relação resulta na entrada em um ciclo de baixa complexidade, pois a aquisição de novas *capabilities* possui forte ligação com as *capabilities* já acumuladas no passado. Logo, por não produzir produtos complexos, não há incentivo para adquirir novas capacidades, já que a contribuição das capacidades adicionais para a produção de novos produtos é baixa (Salles *et al.*, 2018).

O desenvolvimento do Índice de Complexidade Econômica (ECI) por Hidalgo e Hausmann (2009) permitiu a difusão da análise das relações entre padrões de especialização, mudanças estruturais e crescimento econômico, garantindo robustez analítica à argumentação teórica de muitos estudos. O ECI, pela relação com a acumulação de *capabilities*, frequentemente é utilizado como um indicador representativo da melhora qualitativa da estrutura produtiva, sendo usualmente abordado pela literatura como variável explicativa em estudos relativos à predição e duração dos ciclos de crescimento econômico, correlação da sofisticação produtiva e mercado de trabalho, associação com cadeias globais de valor, desenvolvimento humano, sustentabilidade, emissões de gases e crescimento verde, desigualdade de renda, dentre outros (Hartmann *et al.*, 2017; Zhu; Li, 2017; Gala *et al.*, 2018; Yalta; Yalta, 2021).

Menos numerosos são os estudos que destacam os determinantes da complexidade econômica, assumindo o ECI como variável dependente. Dentre os trabalhos empíricos sobre a determinação da sofisticação produtiva a partir de variadas metodologias, alguns fatores destacam-se como relevantes na determinação do ECI, tais como: capital humano (patentes, escolaridade); PIB *per capita*; investimento; receitas de recursos naturais; concentração de exportações; termos de troca; infraestrutura; tarifas; participação do emprego na indústria e serviços; investimento direto estrangeiro (Erkan; Yildirimci, 2015; Ding; Hadzi-Vaskov, 2017; Alencar *et al.*, 2018; Lara-Rodríguez *et al.*, 2018; Gala *et al.*, 2018; Lapatinas; Litina, 2018; Lapatinas, 2019; Lyubimov; Ospanova, 2019; Yalta; Yalta, 2021; Erkan; Ceylan, 2021).

Zhu *et al.* (2010), por exemplo, analisaram os determinantes da sofisticação exportadora de 171 países utilizando um painel de dados sobre comércio no período de 1992 a 2006. Os autores apontaram que a sofisticação das exportações é reforçada pela intensidade do capital e pelo envolvimento em criação e transferência de conhecimento via gastos em educação, pesquisa e desenvolvimento (P&D), investimento estrangeiro direto e importações. O efeito da abundância de recursos naturais parece ser moderado pela qualidade de instituições, pois, na ausência de instituições eficazes, a abundância de recursos naturais dificulta melhorias na qualidade e na sofisticação exportadora, o que não ocorre quando existem boas instituições.

Erkan e Yildirimci (2015) exploraram a relação entre competitividade das exportações e complexidade para o caso da Turquia e para uma amostra de 110 países no ano de 2012, em regressões de corte transversal por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Os resultados mostraram a importância do desempenho logístico, da amplitude da cadeia global de valor e do ensino superior e treinamento para explicar a complexidade dos produtos e a diversificação de mercados de exportação.

Ding e Hadzi-Vaskov (2017) investigaram os efeitos da qualidade da infraestrutura, educação e níveis tarifários sobre a composição das exportações na América Latina e no Caribe (ALC). Para isso, empregaram a metodologia de dados em painel por efeitos fixos e variáveis instrumentais, com dados do período 1962-2013, gerando quatro modelos distintos conforme a variável dependente – ECI, concentração produtiva, sofisticação da economia e vantagem comparativa revelada. As variáveis de controle utilizadas foram qualidade da infraestrutura, tarifas médias, taxa de matrícula no ensino médio ou superior e o Índice de Gini da desigualdade de renda. Os resultados convergiram com os de Erkan e Yildirimci (2015), indicando que melhor qualidade de infraestrutura, tarifas mais baixas, maiores taxas de matrículas e menor desigualdade social associam-se a maiores níveis de complexidade econômica.

O estudo de Camargo e Gala (2017) examinou como países com forte concentração de exportações em recursos naturais (associados à Doença Holandesa) podem ser caracterizados pela baixa complexidade econômica. Adotando como medida de concentração a participação do produto mais exportado do país na pauta exportadora em um painel de 12 períodos de quatro anos (1965-2013) para a estimação de modelos GMM *System*, e controlando os gastos do governo, grau de abertura e o tamanho da população, as evidências apontaram relação negativa entre concentração de exportações em recursos naturais e sofisticação produtiva.

Em análise sobre os determinantes da complexidade econômica para países do Oriente Médio e do Norte de África (MENA) no período 1970-2015, Yalta e Yalta (2021) testaram a hipótese de que os possíveis motores da sofisticação produtiva se situam sobre os determinantes das exportações de alta tecnologia. Assim, os modelos GMM *System* estimados consideraram variáveis como capital humano (desenvolvimento de capacidades), PIB *per capita* (grau de desenvolvimento), termos de troca (relação entre preço dos bens exportados e importados) e investimentos (estímulo às exportações de alta tecnologia). Também incorporaram os efeitos das receitas de recursos naturais (hipótese de Doença Holandesa), já que a concentração nesses produtos pode conduzir ao declínio nos outros setores e prejudicar a diversificação e sofisticação. Os autores encontraram efeitos positivos do capital humano sobre a complexidade econômica, e efeitos negativos das receitas dos recursos naturais, corroborando a vigência da Doença Holandesa nesse grupo de países.

Orsolin Teixeira *et al.* (2022) avaliaram o efeito da complexidade econômica sobre o crescimento e a transformação produtiva das unidades federativas no Brasil entre 2003 e 2014, e os fatores que determinam a complexidade econômica nos entes subnacionais. Os autores utilizaram um conjunto de índices de complexidade econômica (lineares e não lineares) aplicados em painéis GMM *System*. Os resultados evidenciaram relações positivas entre a complexidade e o crescimento econômico das unidades federativas, além de efeitos positivos entre a taxa de câmbio real e a transformação produtiva estadual, e entre a transformação produtiva e a complexidade econômica nos estados.

Carvalho *et al.* (2022) analisaram se o aumento de complexidade econômica implicou em crescimento do PIB *per capita* nos municípios brasileiros, com referência no período de 2009 a 2019. Os autores empregaram métodos de avaliação de impacto focados na complexidade econômica por meio da metodologia do *Propensity Score Matching* (PSM) em conjunto com o modelo de diferenças-em-diferenças (*Dif-in-Dif*). As evidências indicaram que o aumento de complexidade econômica gerou crescimento no PIB *per capita* dos municípios no período analisado.

Considerando o atual padrão de especialização da estrutura produtiva e exportadora brasileira baseado em recursos naturais, cabe destacar que a presente análise difere dos estudos de Orsolin Teixeira *et al.* (2022) e Carvalho *et al.* (2022), dentre outros relacionados ao caso brasileiro, ao direcionar esforços para uma investigação empírica orientada ao impacto da concentração das exportações em produtos primários e manufaturas baseadas em recursos naturais e seus possíveis entraves à mudanças favoráveis na complexidade econômica (medida pelo ECI), com base em dados estaduais fornecidos pela Plataforma DATAVIVA.

Portanto, a contribuição proposta neste trabalho consiste em investigar empiricamente os determinantes da sofisticação produtiva no Brasil (ECI), com ênfase em variáveis alternativas que mensuram a concentração em recursos naturais. Assim, na próxima seção, é caracterizada a distribuição exportadora dos estados brasileiros, com base nas classificações de intensidade tecnológica de Lall (2000) e da NACE (Rev. 2, 2-digit level).

3 COMPLEXIDADE ECONÔMICA E PERFIL DAS EXPORTAÇÕES DOS ESTADOS BRASILEIROS

De acordo com os dados do Atlas da Complexidade Econômica (2022), no período entre 2002 e 2017, o Brasil regrediu da 30^a para a 55^a posição no *ranking* de complexidade econômica mundial. Essa queda de posicionamento ressalta a preocupação com a perda da sofisticação produtiva nacional, ao passo em que se discutem os efeitos do aprofundamento da estrutura produtiva em direção à reprimarização da economia. Assim, é imprescindível questionar quais fatores podem atuar para gerar perda de diversidade e maior ubiquidade das exportações. Nessa perspectiva, é razoável examinar a distribuição produtiva e exportadora no território nacional a fim de evidenciar como a participação dos recursos naturais pode ter influenciado o declínio da complexidade econômica brasileira.

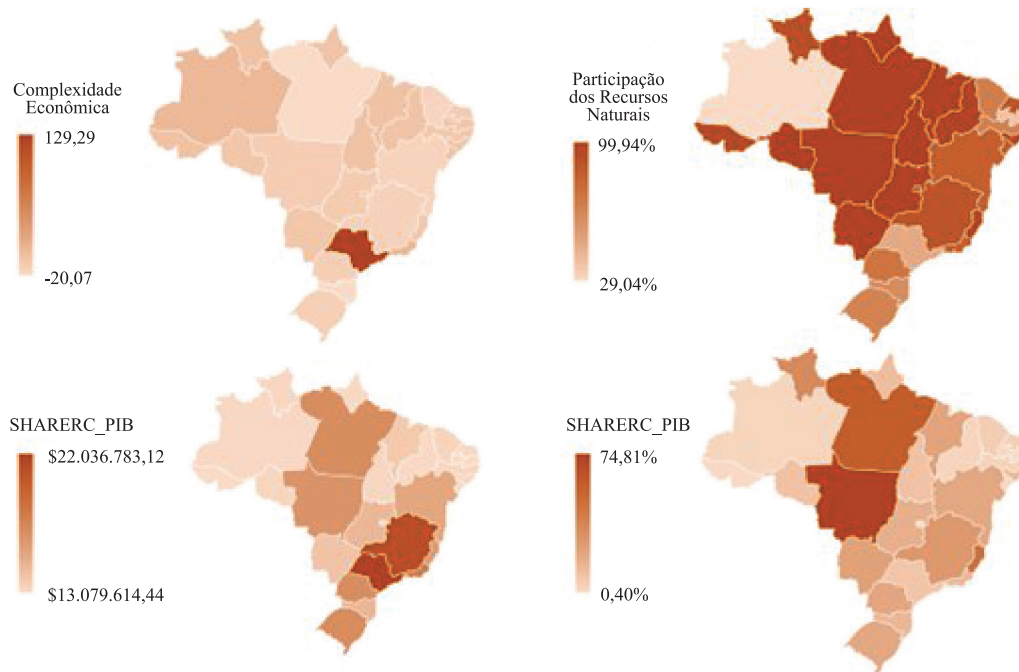
A Figura 1 ilustra a distribuição espacial no território brasileiro conforme os dados da complexidade econômica fornecidos pelo DATAVIVA (2022); a participação (em %) dos recursos naturais na pauta de exportação dos estados, calculado para cada ano, por meio do critério de classificação das exportações de Lall (2000); o valor (em US\$) das exportações de recursos naturais (EXP_RC); e a participação (em %) dos recursos naturais no PIB estadual (SHARERC_PIB).

Em média, os estados de São Paulo, Amazonas e Rio de Janeiro performaram como as unidades federativas mais complexas do Brasil. Entre 2002 e 2008, a composição da pauta exportadora de São Paulo foi constituída predominantemente por bens de média e alta intensidade tecnológica, abrangendo veículos automóveis, tratores, ciclos e outros veículos terrestres, suas partes e acessórios; reatores nucleares, caldeiras, máquinas, aparelhos e instrumentos mecânicos; aeronaves e aparelhos espaciais; máquinas, aparelhos e materiais elétricos; aparelhos de gravação ou de reprodução de som, de imagens e de som em televisão – correspondendo a pouco mais de 40% da pauta. No entanto, a partir de 2009, o produto mais exportado pelo estado passou a ser da indústria alimentícia, na categoria de açúcares e produtos de confeitaria (pouco mais de 10% na pauta), reduzindo o peso dos setores de média-alta tecnologia para cerca de 30%. Contudo, cabe destacar que São Paulo possui elevada diversidade de produtos (média de 1.108 produtos exportáveis).

O estado do Amazonas também apresentou mudança na predominância de sua pauta exportadora. Entre 2002 e 2005, a pauta era constituída por bens de média-alta tecnologia, (70% a 80% de participação), com destaque para máquinas, aparelhos e materiais elétricos; veículos automóveis, tratores, ciclos e outros veículos terrestres; e reatores nucleares, caldeiras, máquinas, aparelhos e instrumentos mecânicos. A partir de 2013, os produtos da indústria alimentar (manufatura baseada em recursos naturais) assumiram a liderança do desempenho exportador, com 28% de participação. O estado ainda permanece como um dos mais complexos no Brasil, porém, é notável a queda de participação dos produtos de média-alta tecnologia ao longo do tempo (constituindo cerca de 30% das exportações).

O estado do Rio de Janeiro apresentou comportamento peculiar se comparado ao arranjo exportador de São Paulo e do Amazonas, visto que sua pauta exportadora é dominada por combustíveis e óleos minerais, e produtos da sua destilação; matérias betuminosas e ceras minerais; e ferro fundido, ferro e aço (cerca de 70%). Assim, a complexidade do estado, de acordo com a metodologia, resulta da quantidade de bens exportados (diversidade de sua pauta) (ver Tabela 1) e da peculiaridade de suas manufaturas baseadas em recursos naturais, de modo que algumas atividades do setor de combustíveis minerais, mesmo sendo classificadas como de média-baixa intensidade tecnológica, demandam a aquisição de certos tipos de *capabilities*.

Figura 1 – Complexidade econômica e recursos naturais dos estados brasileiros, média 2002-2017



Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do Comexstat (2023) e da plataforma DATAVIVA (2022).

Em contrapartida, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná, apesar de possuírem diversidade similar ao estado do Rio de Janeiro (Tabela 1), apresentaram avanço significativo dos recursos naturais nas respectivas pautas exportadoras, com destaque para minério de ferro; ferro fundido e café em Minas Gerais; e sementes e frutos oleaginosos; grãos, sementes e frutos diversos; plantas industriais ou medicinais; palhas e forragens; e carnes e miudezas comestíveis no Rio Grande do Sul e Paraná.

Nos demais estados, os indicadores de complexidade são sempre negativos, o que pode ser interpretado como reflexo do aprofundamento da estrutura produtiva em atividades com baixo potencial de sofisticação. Estados como Pará, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Goiás possuem formação exportadora constituída majoritariamente por bens primários ou baseados em recursos naturais (MDIC-COMEXSTAT, 2023). Embora seus valores de diversidade sejam razoáveis, o peso dos recursos naturais na estrutura produtiva é sintomático, sinalizando um obstáculo estrutural à sofisticação. De maneira similar, Maranhão, Tocantins, Roraima, Amapá, Piauí, Sergipe, Acre e Alagoas são fortemente concentrados em recursos naturais (cerca de 99% da pauta), com o agravante da baixíssima diversidade produtiva, o que torna essas unidades da federação ainda mais vinculadas às dificuldades associadas ao ciclo da *quiescence trap*.

Paraíba e Ceará destacam-se como dois casos interessantes da relação entre concentração em recursos naturais e baixa complexidade. Nestes estados, a média da participação/concentração dos recursos naturais estão entre as menores das 27 unidades da federação (38% e 68%, respectivamente), contudo, as exportações estão sistematicamente concentradas na indústria de baixa intensidade tecnológica (têxtil e calçados), enquanto os recursos naturais completam a distribuição do perfil exportador. Ainda que a concentração não seja tão elevada como em outros estados, o combo “baixa intensidade tecnológica e recursos naturais” é capaz de obstaculizar a sofisticação produtiva. Os estados de São Paulo e Amazonas destoam dos demais ao formarem uma pauta com presença de bens de média-baixa, média-alta e alguns casos de alta tecnologia (aeronaves e aparelhos espaciais).

Tabela 1 – Diversidade das exportações dos estados brasileiros, 2002, 2010 e 2017 (unidades de produtos)

Estado	2002	2010	2017	Direção da mudança de diversidade (2002 a 2017)	Direção da mudança de diversidade (2010 a 2017)
Acre	27	129	57	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Alagoas	42	58	69	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Amapá	14	27	34	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Amazonas	194	220	284	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Bahia	368	388	459	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Ceará	262	338	369	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Distrito Federal	86	121	118	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Espírito Santo	234	301	415	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Goiás	239	341	388	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Maranhão	46	46	41	■ Manteve	▼ Perdeu
Mato Grosso	128	143	154	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Mato Grosso do Sul	122	687	394	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Minas Gerais	758	812	809	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Pará	163	241	249	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Paraíba	98	135	100	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Paraná	777	836	857	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Pernambuco	232	324	308	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Piauí	40	44	61	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Rio de Janeiro	812	781	763	▼ Perdeu	▼ Perdeu
Rio Grande do Norte	99	146	109	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Rio Grande do Sul	875	892	892	▲ Ganhou	■ Manteve
Rondônia	41	241	349	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Roraima	34	23	76	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Santa Catarina	683	783	833	▲ Ganhou	▲ Ganhou
São Paulo	1.009	1.110	1.110	▲ Ganhou	■ Manteve
Sergipe	28	50	71	▲ Ganhou	▲ Ganhou
Tocantins	15	50	49	▲ Ganhou	▼ Perdeu
Média	275,04	343,22	348,81	-	-

Fonte: Elaboração própria baseada nos dados do MDIC-Comexstat (2023) e plataforma Dataviva (2022).

A Tabela 1 revela os estados que ganharam ou perderam em quantidade de produtos exportados entre 2002 e 2017. À primeira vista, o avanço na diversidade parece indicar passo preliminar para melhoria da sofisticação, tendo em consideração que os estados (exceto Maranhão e Rio de Janeiro) expandiram a quantidade de produtos nas pautas exportadoras entre 2002 e 2017. Contudo, focando a análise no recorte entre 2010 e 2017, os sinais da perda da diversidade (10 estados) são evidentes, expondo que, a partir da segunda década dos anos 2000, houve avanço dos recursos naturais nas pautas de exportação dos estados somado à perda de diversidade de produtos. Portanto, para além do simples crescimento, *é necessário ponderar que nos estados que exibiram avanços na diversidade, o perfil dos produtos é majoritariamente de primários e baseados em recursos naturais, o que suscita a seguinte problemática: diversificação concentrada em recursos naturais é benéfica à sofisticação?*

As próximas seções do artigo investigam empiricamente essa questão, bem como os efeitos dos fatores estruturais preliminarmente indicados nas evidências empíricas da literatura (seção 2) sobre a sofisticação produtiva com base nos dados dos estados brasileiros.

4 METODOLOGIA E DADOS

Este artigo tem como objetivo examinar os fatores determinantes da sofisticação produtiva em economias especializadas em bens primários ou baseados em recursos naturais, com base no pressuposto de que uma estrutura produtiva-exportadora concentrada em recursos naturais obstaculiza as possibilidades de sofisticação da economia. Nesses termos, são considerados como principais fatores explicativos do grau de sofisticação da economia o predomínio na pauta exportadora de bens primários ou baseados em recursos naturais; a diversidade (quantidade de bens produzidos e exportados) da estrutura produtiva; o capital humano; o investimento em infraestrutura; o PIB *per capita* e o grau de abertura comercial.

Vislumbrando que as variáveis supracitadas remetem, em grande parte, a características estruturais da economia, é admissível considerar que os possíveis impactos delas sobre a sofisticação produtiva encontram-se orientadas para longo prazo. Assim, a abordagem empregada nas estimações propostas envolve a especificação de um modelo de cointegração com uma estrutura de dados em painel Autor-regressivo com Defasagens Distribuídas (ARDL) para a amostra de dados relativos aos estados brasileiros. Essa metodologia segue a proposta de Pesaran, Shin e Smith (1999), a saber, o modelo *Pooled Mean Group* (PMG). Os estimadores de probabilidade de PMG são usados para estimar coeficientes de longo prazo, captando também o comportamento em grupo de restrições de homogeneidade pela média do grupo utilizado para obter parâmetros estimados de correção de erros e parâmetros de curto prazo.

Ao trabalhar com dados em painel de segunda geração, as abordagens econométricas podem ser separadas em duas categorias distintas. Em primeiro lugar, a heterogeneidade individual pode ser acomodada estimando equações individuais para cada seção transversal e calculando a média das estimativas dos parâmetros. Isso é alcançado pelo estimador *Mean Group* (MG) proposto por Pesaran e Smith (1999), que pode se mostrar como um estimador consistente, mas não necessariamente eficiente, dos parâmetros heterogêneos médios. Alternativamente, as seções transversais podem ser agrupadas com o uso de efeitos fixos dinâmicos ou outro modelo similar. Essa abordagem permite diferentes interceptos, mas exige que os parâmetros de inclinação sejam idênticos para todas as seções transversais, o que pode configurar uma suposição altamente restritiva.

O modelo PMG-ARDL estimado na forma de vetores de correção de erros (ARDL-ECM) é especificado conforme a equação 1, a seguir:

$$\Delta(y)_{it} = \Phi_i(y)_{i,t-1} + \beta'_i x_{it} + \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_{ij}^* \Delta(y)_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta_{ij}^* \Delta(x)_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

em que y_{it} é a variável dependente e Δ a primeira diferença, x são as variáveis independentes; $\Phi_i = - (I - \sum_{j=1}^p \alpha_{ij})$ representa o mecanismo de correção de erro para o i -ésimo grupo; $\beta_i = \sum_{j=0}^q \delta_{ij}$ são os parâmetros de longo prazo para o i -ésimo grupo; $\alpha_{ij}^* = - \sum_{m=j+1}^p \alpha_{im}$ $j = 1, 2, \dots, p-1$ são os parâmetros de curto prazo para o i -ésimo grupo; ε_t são os distúrbios do tipo ruído branco.

Os modelos painel PMG-ARDL são aplicados para a análise dos efeitos de longo prazo dos determinantes da sofisticação produtiva, com ênfase nas variáveis relativas à concentração, participação e valor exportado de recursos naturais, as quais caracterizam o perfil exportador dos estados brasileiros. Também são adotadas variáveis de controle, conforme descrito no Quadro 1, escolhidas com base nos estudos empíricos da literatura sobre os determinantes da diversificação das exportações e da sofisticação produtiva (seção 2). Os dados são anuais, abrangendo o período de 2002 a 2017, conforme disponibilidade das informações.

A variável dependente consiste no Índice de Complexidade Econômica (ECI), obtido na plataforma DATAVIVA, cujo cálculo segue sua versão subnacional. Conforme desenvolvido por Hidalgo e Hausmann (2009), dados a nível subnacional variam em termos das unidades de observação (províncias, municípios etc.). Dessa forma, com intenção de evitar distorções regionais, tais como regiões mais desenvolvidas concentrarem vantagens comparativas em todos os produtos, o indicador ECI é calculado combinando a complexidade do produto (PCI), obtida por meio da interação entre as medidas de diversidade e exclusividade, conforme a equação 2:

$$ECI_c = 1/M_c \sum_p M_{cp} PCI_p \quad (2)$$

Define-se na matriz de adjacência $M_{cp} = 1$ quando a produção de um local em uma atividade é maior do que o esperado para um local do mesmo tamanho e uma atividade com a mesma produção total. Essa matriz leva em conta as atividades (p) presentes em uma localização (c) e são considerados apenas os produtos em que o local possui Vantagem Comparativa Revelada $VCR_{cp} = (X_{cp}^{local}/X_c^{local})/(X_p^{mundo}/X^{mundo})$, sendo X_{cp}^{local} as exportações da atividade (p) no local (c), X_c^{local} as exportações totais no local (c), X_p^{mundo} as exportações mundiais da atividade (p) e X^{mundo} as exportações mundiais totais. Os resultados obtidos para o ECI indicam que valores positivos (negativos) e mais próximos do extremo positivo (negativo) representam maior (menor) complexidade.

As variáveis explicativas de interesse representam o padrão de especialização exportadora e a direção da estrutura produtiva, e são mensuradas em três especificações: i) concentração de recursos naturais na pauta de exportações (*Part_Rec*), construída a partir da composição das exportações de todos estados, em cada ano, adotando a classificação de exportações de Lall (2000); ii) participação das exportações no PIB (*Share_Rec*); e iii) valor exportado de recursos naturais (*Exp_Rec*). Os resultados podem indicar se a especialização em recursos naturais é prejudicial ao processo de sofisticação produtiva, tendo em vista que, à medida em que uma economia baseada em recursos naturais obtém ganhos decorrentes da especialização nesse tipo de produto, menores são os incentivos para sofisticar as exportações, bem como menores são os retornos de possíveis *capabilities* adquiridas.

Cabe destacar que a finalidade de estimar a contribuição dos recursos naturais sobre as três óticas alternativas (*Part_Rec*; *Share_Rec* e *Exp_Rec*) consiste em qualificar a resposta dos possíveis efeitos da especialização no tocante à sofisticação, considerando em que circunstâncias esse processo ocorre de forma negativa – se em um cenário de predominância de recursos naturais na estrutura produtiva (*Share_Rec*) e/ ou em um cenário que considera a relação comercial dos recursos naturais (*Part_Rec* e *Exp_Rec*).

Quadro 1 – Variáveis, fontes e sinais esperados

Variáveis	Definição	Fonte	Sinal esperado
<i>ECI</i>	Índice de Complexidade Econômica	DATAVIVA	Variável dependente
<i>Share_exp</i>	Participação das exportações de produtos primários e manufaturas baseadas em recursos naturais no PIB do estado (em %)	MDIC-SECEX	Negativo
<i>Part_Rec</i>	Concentração da pauta exportadora em produtos primários e manufaturas baseadas em recursos naturais (50% ou mais da cesta)	MDIC-SECEX	Negativo
<i>Exp_Rec</i>	Valor exportado de produtos primários e manufaturas baseadas em recursos naturais (em US\$)	MDIC-SECEX	Negativo
<i>Cap_h (anos de estudo)</i>	Anos de estudo pessoas acima de 15 anos (aqueles que concluíram ou ingressaram no ensino superior) (em número de anos)	IBGE	Positivo
<i>Cap_h (desp_ed)</i>	Despesas empenhadas em educação (R\$)	IBGE	Positivo
<i>desp_cap</i>	Despesas empenhadas em investimento (R\$)	IPEADATA/Tesouro Nacional	Positivo
<i>desp_tra</i>	Despesas empenhadas em transporte (R\$)	IPEADATA/Tesouro Nacional	Positivo
<i>desp_san</i>	Despesas empenhadas em saneamento (R\$)	IPEADATA/Tesouro Nacional	Positivo
<i>PIB_pc</i>	PIB per capita (R\$)	IPEADATA/IBGE	Positivo
<i>Diver</i>	Quantidade de bens diferentes produzidos por estado em cada ano	DATAVIVA	Positivo
<i>Abert</i>	Grau de abertura comercial (%)	MDIC-SECEX	Positivo

Fonte: Elaboração própria.

As demais variáveis de controle representam fatores estruturais que influenciam o progresso em direção a uma estrutura produtiva mais sofisticada no longo prazo, envolvendo:

- Capital Humano (Cap_h (*anos de estudo*) e Cap_h (*desp_ed*)): pressupõe-se que o maior grau de qualificação da força de trabalho permite maiores níveis de complexidade econômica, visto os efeitos positivos do conhecimento, das capacidades e da produtividade local sobre as exportações de maior intensidade tecnológica;
- PIB real *per capita* (PIB_pc): utilizado como *proxy* para o grau de desenvolvimento do estado e de aumento da demanda por produtos complexos;
- Diversidade produtiva ($Diver$): presume-se que a sofisticação produtiva seja oriunda do desenvolvimento de habilidades internas que resulta em maior diversidade de bens exportados e de transbordamento para atividades que exijam habilidades correlatas;
- Gastos do governo ($desp_cap$): *proxy* para investimentos públicos em capital, os quais ampliam a capacidade produtiva e podem estimular as exportações;
- Abertura comercial ($Abert$): economias mais abertas podem ter estímulos maiores à diversificação para além de suas vantagens comparativas. Ainda, a possibilidade de importação de tecnologia pode contribuir para sofisticar a estrutura produtiva;
- Qualidade da infraestrutura ($desp_tra$ e $desp_san$): considera-se a infraestrutura como condicionante de atividades com teor de desenvolvimento mais elevado, pois pode alavancar decisões de investimento e associar menor ônus ao risco envolvido.

Portanto, o modelo geral estimado é definido pela equação 3:

$$\Delta(ECI)_{it} = \alpha + \alpha_1 T + \beta_1 (ECI)_{it-1} + \beta_2 (RN)_{it-1} + \beta_3 (X)_{it-1} + \sum_{j=1}^p \beta_4 \Delta(ECI)_{it-j} + \sum_{j=1}^q \beta_5 \Delta(Part_Rec)_{it-j} + \sum_{j=1}^r \beta_6 \Delta(X)_{it-j} + E_t \quad (3)$$

sendo o Indicador de Complexidade Econômica de cada estado (i) no período (t); as variáveis de concentração de recursos naturais na pauta de exportações ($Part_Rec$), participação das exportações de recursos naturais no PIB ($Share_Rec$) e valor das exportações de recursos naturais (Exp_Rec); X representa o vetor de variáveis de controle e determinantes estruturais.

A estratégia empírica de estimação envolveu o emprego de dez especificações distintas para o modelo geral, visto que cada entrada acomoda as premissas levantadas neste trabalho. Essa estratégia também permite lidar com possíveis problemas de defasagens, muito comuns em modelos de cointegração, que limitam a entrada de variáveis no modelo quando se dispõem de amostras de dados temporais mais restritas.

As especificações I, II e III estimam os impactos individuais sobre a sofisticação produtiva de cada uma das variáveis de interesse relativas à especialização em recursos naturais – concentração da pauta exportadora ($Part_Rec$), participação no PIB ($Share_Rec$) e valor exportado (Exp_Rec), respectivamente.

As especificações IV e V remetem às variáveis representativas do capital humano, evidenciados pelo tempo dedicado na formação (*anos de estudo*) e pelo volume de recursos públicos despendidos na educação ($desp_ed$), de modo que potenciais efeitos dessas *capabilities* de conhecimento possam ser oportunos a uma estrutura mais complexa.

As especificações VI e VIII estimam o impacto da infraestrutura determinado pelos gastos com transportes ($desp_tra$) e saneamento básico ($desp_san$). A infraestrutura de transportes é decisiva ao desempenho produtivo, principalmente no Brasil, cuja forma predominante de escoamento de bens se dá via terrestre. Assim, investimentos em infraestrutura de transportes contribuem para uma estrutura produtiva mais eficiente, posto que facilita o comércio de bens e insumos, e conecta regiões periféricas a melhores serviços (Andrés *et al.*, 2014). Já os investimentos em infraestrutura de saneamento básico contribuem para a melhoria da produtividade da população e avanços na estrutura produtiva, pois a indústria se beneficia das benfeitorias aplicadas a um sistema de saneamento mais refinado (Turolla; Ohira, 2005).

A especificação VII verifica o efeito do investimento público, captado pelas despesas de capital (*desp_cap*), as quais envolvem gastos para a produção ou geração de novos bens ou serviços, e contribuem diretamente para a formação ou aquisição de bens de capital. Esse gasto promove efeitos multiplicadores sobre a renda, influenciando positivamente uma composição produtiva mais sofisticada.

As especificações IX e X compõem os modelos mais completos, mensurando os impactos combinados da variável de interesse concentração da pauta exportadora em recursos naturais (*Part_Rec*) com os efeitos do capital humano (*anos de estudo*) e do investimento público (*desp_cap*).

Todas as especificações são controladas pelo *PIB per capita* (*PIB_pc*), considerado como uma variável de renda para os estados; pela diversidade produtiva (*Diver*), assumindo a premissa de aquisição de *capabilities* na produção; e pela abertura comercial (*Abert*), pressupondo que estados com maior abertura comercial possuam maior capacidade de sofisticar sua estrutura produtiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de efetivar as estimativas dos coeficientes dos modelos, é preciso estimar os testes de raiz unitária em painel para verificar a ordem de integração das variáveis, ou seja, se há um conjunto de variáveis estacionárias e não estacionárias.

Tabela 2 – Testes de raiz unitária

	Levin-Lin-Chu	Im-Pesaran-Shin	ADF-Fisher	PP-Fisher	Decisão
<i>ECI</i>	-2,9344 [0,0017]	-1,5475 [0,0690]	79,5082 [0,0135]	105,335 [0,0000]	Estacionária
<i>Part_Rec</i>	-1,6752 [0,0470]	-1,4470 [0,0739]	74,4453 [0,0340]	118,833 [0,0000]	Estacionária
<i>Share_Rec</i>	-3,3198 [0,0005]	-0,9944 [0,1600]	61,2788 [0,2313]	53,4570 [0,4953]	Não estacionária
<i>Exp_Rec</i>	-4,0416 [0,0000]	-0,8813 [0,1891]	-58,6678 [0,3083]	53,6692 [0,4871]	Não estacionária
<i>Cap_h (anos de estudo)</i>	-4,7391 [1,0000]	-0,8813 [0,1891]	-58,6678 [0,3083]	53,6692 [0,4871]	Não estacionária
<i>Cap_h (desp_ed)</i>	1,6244 [0,9479]	6,1801 [1,0000]	19,3605 [1,0000]	20,1160 [1,0000]	Não estacionária
<i>desp_tra</i>	-3,1463 [0,0008]	-0,6945 [0,2437]	60,1216 [0,2638]	53,8693 [0,4794]	Não estacionária
<i>desp_cap</i>	-4,4049 [0,000]	-0,8769 [0,1903]	55,6702 [0,4117]	47,0428 [0,7375]	Estacionária
<i>desp_san</i>	1,6232 [0,9477]	6,1209 [1,0000]	13,5034 [1,0000]	13,3062 [1,0000]	Não estacionária
<i>PIB_pc</i>	3,1103 [0,052]	8,4522 [1,0000]	6,6498 [1,0000]	5,85184 [1,0000]	Não estacionária
<i>Diver</i>	-2,0106 [0,0222]	-2,9187 [0,0018]	86,3140 [0,2989]	146,308 [0,000]	Estacionária
<i>Abert</i>	-2,2869 [0,0111]	0,0451 [0,5180]	45,6170 [0,7845]	39,8268 [0,9250]	Não estacionária

Fonte: Elaboração própria a partir das estimações do Eviews.
Valores em [] denotam as probabilidades.

Para isso, são realizados os testes de Levin *et al.* (2002) - teste (LLC); Im *et al.* (2003) - teste (IPS); e teste IPS de segunda geração (CIPS) de Pesaran (2007). O teste LLC é baseado na suposição de não heterogeneidade do parâmetro autorregressivo; o teste IPS permite a heterogeneidade; enquanto a unidade CIPS, mais segura, relaxa a suposição de independência transversal da correlação contemporânea. Todos os testes assumem como hipótese nula a não estacionariedade e a seleção do comprimento de atraso é escolhida usando os critérios Bayesian-Schwarz. O objetivo da realização desses testes é evitar que sejam utilizadas séries com ordem de integração diferente de I(0) e I(1). Os resultados obtidos (Tabela 2) confirmam que as séries estão aptas à aplicação do método proposto.

Na sequência, são realizados os testes de cointegração com dados em painel. O principal teste utilizado é o de cointegração de Pedroni (1996). O teste de cointegração de Engle-Granger (1987) é baseado em um exame dos resíduos de uma regressão espúria realizada usando variáveis $I(1)$. Se as variáveis forem cointegradas, os resíduos devem ser $I(0)$. Por outro lado, se as variáveis não forem cointegradas, os resíduos serão $I(1)$. Pedroni (1999) estende a estrutura Engle-Granger para testes envolvendo dados em painel e propõe testes de cointegração que permitem interceptos heterogêneos e coeficientes de tendência em seções transversais.

A Tabela 3 relata os resultados das estatísticas dentro (*Within*) e entre (*Between*) para o teste de dimensão. A cointegração é encontrada em pelo menos uma das estatísticas para o modelo estimado. Portanto, as evidências sugerem uma relação de equilíbrio de longo prazo entre a variável de complexidade econômica (*ECI*) e as demais variáveis do modelo.

Tabela 3 – Teste de cointegração de Pedroni

Cointegration Test	Estatística Within-dimension	Estatística Between-dimension
Panel v-Statistic	-5,0209 (1,0000)	-
Panel rho-Statistic	5,2093 (1,0000)	7,3097 (1,0000)
Panel PP-Statistic	-19,8415 (0,0000)	-24,1761 (0,0000)
Panel ADF-Statistic	-3,3167 (0,0050)	-4,0196 (0,0000)

Fonte: Elaboração própria a partir das estimações do Eviews.

Hipótese nula = não há cointegração.

Probabilidades entre parênteses.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para as estimativas dos coeficientes de longo prazo e dos Mecanismos de Correção de Erros (ECM). Verifica-se que a variável concentração da pauta exportadora em recursos naturais (*Part_Rec*) reporta o sinal negativo e estatisticamente significativo esperado (modelos I, IX e X). Em vista disso, é cabível considerar que, quanto maior a concentração de recursos naturais na composição exportadora dos estados brasileiros, maiores serão também, a longo prazo, as dificuldades encontradas para sofisticar a estrutura produtiva, ou seja, em diversificar e ampliar a presença de bens não ubíquos, representativos de *capabilities* exclusivas, na pauta exportadora.

Tais evidências são corroboradas pelos resultados do modelo II, em que o coeficiente da participação das exportações de produtos primários e manufaturas baseadas em recursos naturais no PIB (*Share_Rec*) obtido também é negativo e estatisticamente significativo. Dessa forma, o direcionamento (*Share_Rec*) e a concentração produtiva (*Part_Rec*) em bens primários e manufaturas baseadas em recursos naturais (pouco complexas) parecem obstaculizar as possibilidades de transição para setores mais complexos e o desenvolvimento de atividades distintas daquelas baseadas nas vantagens comparativas dos recursos naturais.

Esse resultado pode decorrer da resistente concentração no *product space* em atividades e produtos com baixo potencial de crescimento no longo prazo. Essa condição é defendida por Hausmann, Hwang e Rodrik (2006), Hidalgo *et al.* (2007) e Hidalgo e Hausmann (2009), cujos trabalhos baseiam-se em premissas teóricas e empíricas fundamentadas no enfoque de que o produto/atividade importa para o processo de desenvolvimento e crescimento de longo prazo. Isto, pois, na ótica de disseminação no *product space* vigora a perspectiva de probabilidade de coexportação, a qual explicita que, quanto maior a similaridade e proximidade dos produtos em vantagens comparativas no tecido produtivo do país (região), maiores são as possibilidades de se incorrer em um processo de sofisticação da estrutura produtiva, dado que as habilidades básicas necessárias já estão desenvolvidas localmente, o que torna mais fácil expandir e desenvolver para uma atividade correlata que exija habilidades similares.

Tabela 4 – Coeficientes de longo prazo e ECM (Índice de Complexidade Econômica: variável dependente)

Modelos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Part_Rec</i>	-2,8398* (0,6327)								-0,7083* (6,88E-08)	-5,1080* (1,0634)
<i>Share_Rec</i>		-6,9721* (1,1441)								
<i>Exp_Rec</i>			0,2415** (0,1055)							
<i>Cap_h (anos de estudo)</i>				0,6038* (0,1646)					0,0008* (0,16460)	0,0212* (0,0005)
<i>Cap_h (desp_ed)</i>					-0,0434 (0,1238)					
<i>desp_tra</i>						1,54E09* (0,05004)				0,4932* (0,0792)
<i>desp_cap</i>							2,42E-10** (1,04E-10)			
<i>desp_san</i>								2,82E-08* (1,49E09)		
<i>PIB_pc</i>	-0,00977** (0,00312)	0,03084* (0,00338)	0,0792* (0,0347)	-0,7407 (0,4515)	-0,0111 (0,0132)	-0,0136* (0,00847)	-0,0094* (0,0017)	-0,1065* (0,0111)	0,0089* (2,43E08)	-4,4957* (0,2595)
<i>Diver</i>	0,00423* (0,00067)	0,01261* (0,00153)	0,00039 (0,00127)	0,0011 (0,1893)	0,0026* (0,0007)	-0,0340* (0,0024)	-0,0119* (0,0005)	0,0242** (0,0078)	0,0037* (8,65E-10)	-0,0192* (0,0011)
<i>Abert</i>	0,01394* (0,00378)	0,01320* (0,00313)	0,01374* (0,01568)	0,0037* (0,0007)	0,0128* (0,0035)	0,0190* (0,0020)	0,0198* (0,0030)	0,0175* (0,0029)	0,0050* (3,59E-10)	0,0134* (0,0026)
ARDL Lags	[1,1,1,1,1]	[3,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1]	[2,2,2,2,2]	[2,1,1,1,1]	[1,2,2,2,2]	[1,1,1,1,1]	[1,1,1,1,1]
Max. Lags	1	3	1	1	1	2	2	2	1	1
ECM	-0,57721*	-0,61620*	-0,82607*	-0,9501*	-0,5812*	-0,4412*	-0,6264*	-0,1853**	-0,9602*	-0,2652**

Fonte: Elaboração própria a partir das estimações do Eviews.

Notas: (*) (**) (***) indicam 1%, 5% e 10% de significância estatística, respectivamente. Erros-padrões entre parênteses.

Por consequência, um desafio a ser superado no longo prazo consiste em transpor essa barreira da estrutura produtiva, de modo a sobrepujar o desestímulo natural ao desenvolvimento de produtos com maior conteúdo tecnológico para além das atividades baseadas em recursos naturais. Esse cenário mantido inalterado se mostra impeditivo a um transcurso de diversificação de produtos e setores similarmente sofisticados no tecido produtivo.

Outra questão a ser abordada quanto à presença de recursos naturais diz respeito ao contexto no qual a abundância ou dinâmica exportadora, *per se*, pode não ser rigorosamente um obstáculo à sofisticação, tal como evidenciado pela estimação do modelo III, cuja variável de interesse é o valor das exportações de recursos naturais dos estados (*Exp_Rec*). Diferente das estimações relativas aos modelos I e II, o modelo III estima o efeito do valor exportado, que resulta em relação positiva e significativa sobre a complexidade econômica.

Isso sugere que o fluxo de exportações dos recursos naturais não é necessariamente o fator determinante que atua como impeditivo ao refinamento da estrutura produtiva, mas sim a incapacidade de lidar com a forte concentração na composição exportadora (*Part_Rec*) e o direcionamento e dependência dos recursos naturais na estrutura produtiva (*Share_Rec*), os quais, de fato, exercem efeitos limitantes a uma transição benéfica ao aumento da complexidade. Nestes termos, cabe apontar os Estados Unidos como exemplo, pois, mesmo com valores elevados de exportações de recursos naturais, o país se mantém bem classificado no *ranking* de complexidade econômica, ocupando a nona posição (OECD, 2022).

Os resultados também apontam a relação positiva e estatisticamente significativa esperada para a variável *anos de estudo* (modelos IV, IX e X), de modo que elevar a escolaridade do contingente populacional / força de trabalho contribui para a sofisticação no longo prazo. O capital humano é essencial ao desenvolvimento de habilidades internas/locais *non-tradeable*, premissa sustentada pela abordagem da complexidade econômica. Portanto, a formação de *capabilities* afeta a produtividade e a qualidade da estrutura produtiva, mediante diversificação e não ubiquidade, e o crescimento econômico de longo prazo, sobretudo, se permite dinamizar o *product space* em direção a atividades que exigem maior nível de conhecimento (Zhu; Li, 2017; Faggian *et al.*, 2019).

Por outro lado, a variável alternativa despesas em educação (*desp_ed*) (modelo V) não obteve significância estatística, sugerindo que o acréscimo do montante de recursos direcionados à educação estadual não se revelam suficientes para estimular ganhos com capital humano no tocante à sofisticação produtiva. Esse resultado pode ser justificado pela característica do destino desse recurso (educação básica), cuja disseminação do conhecimento se dá pela homogeneização do conhecimento básico transmitido aos indivíduos, diferindo da variável de anos de estudos, cuja particularidade é notada pela especialização do conhecimento em termos da busca por conhecimento e habilidades em áreas específicas com o ensino superior.

As variáveis referentes à infraestrutura (*desp_tra* e *desp_san*) apresentam coeficientes positivos e significativos (modelos VI e VIII), indicando que a melhoria na infraestrutura de transportes e saneamento é oportuna para sofisticar o tecido produtivo. Logo, o ciclo básico do saneamento, ao prover instrumentalização de um serviço básico às cadeias produtivas setoriais, bem como a infraestrutura de transportes, ao aprimorar a dinâmica de escoamento da produção de bens/serviços, formam elementos estruturais de elevado proveito à dinamização produtiva.

Em linha, os resultados encontrados para a variável investimento público (*desp_cap*) (modelo VII) sustentam a relação positiva entre o gasto público em capital e o aprimoramento produtivo. Tais gastos podem transbordar positivamente para a estrutura produtiva, ocasionando condições para sofisticação.

A variável diversidade produtiva (*Diver*), na maioria das estimações, possui sinais positivos com significância estatística, em consonância com o argumento de que a reunião de *capabilities non-tradable*, quando realizadas em favor de novas atividades, são benéficas ao processo de sofisticação. Portanto, na medida que uma economia se torna hábil em desenvolver novas *capabilities* e impulsionar o processo de coexportação, a diversidade de atividades opera em favor da complexidade.

A variável abertura comercial (*Abert*) apresenta resultados positivos esperados, tendo em vista que economias mais abertas podem apresentar maiores estímulos à diversificação, avultando suas vantagens comparativas, e podem ser beneficiadas pelo processo de estímulo a coexportação de atividades que exigem habilidades correlatas e/ou similares. Outro fator que pode contribuir é a importação de tecnologias, que, ao serem incorporadas, colaboram para a melhoria qualitativa da estrutura produtiva.

Cabe destacar que os sinais obtidos para a variável PIB *per capita* (*PIB_pc*) não apresentam robustez, mas, em alguns modelos foram positivos, indicando que a maior demanda por produtos complexos e o grau de desenvolvimento econômico contribuem para aumentar a complexidade da estrutura produtiva (modelos II, III e IX).

No que se refere aos resultados de curto prazo, os coeficientes do Mecanismo de Correção de Erros (ECM) obtidos são negativos e significativos. O ECM remete à velocidade com que o modelo estimado retorna ao equilíbrio de longo prazo. Em boa parte das especificações, com destaque para os modelos VI, VIII e X, a velocidade de ajuste se mostra lenta, tendo, em média, a necessidade de mais de dois anos para se recuperar de choques de curto prazo. É cabível considerar que, por se tratar de variáveis com características estruturais, esse é um comportamento relativamente esperado, uma vez que mudanças estruturais são mais lentas no tempo. Além disso, a evidência sugere que o perfil exportador em bens primários e manufaturas baseadas em recursos naturais exige mais tempo para lidar com os efeitos de choques e posterior retorno ao equilíbrio de longo prazo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo investigar os fatores estruturais potencialmente determinantes do processo de sofisticação produtiva no longo prazo em economias especializadas em recursos naturais. A abordagem empírica destacou, na concepção da especialização, os efeitos de variáveis representativas da concentração, participação/direcionamento e dinâmica exportadora de bens primários e manufaturas baseadas em recursos naturais no processo de sofisticação produtiva mensurado pelo Índice de Complexidade Econômica (ECI). Também foram observados aspectos estruturais relativos ao capital

humano, infraestrutura, investimento, diversificação produtiva, renda e abertura comercial, elencados como fatores determinantes em direção a um tecido produtivo mais complexo (com maior diversidade e capacidades exclusivas), sobretudo, na forte presença de bens primários ou manufaturas baseadas em recursos naturais na pauta exportadora.

Os resultados encontrados corroboraram com a hipótese levantada no trabalho, segundo a qual, no longo prazo, permanecer com uma significativa concentração de recursos naturais na composição exportadora, bem como forte direcionamento produtivo intensificando a dependência em recursos naturais, pode obstaculizar a sofisticação e exercer efeitos limitantes a uma transição benéfica para tornar uma economia mais diversificada e não ubíqua. Os resultados também indicaram que tempo dedicado à qualificação, melhorias na infraestrutura e investimento público são fatores favoráveis ao aumento da complexidade econômica, evidenciando que a melhora estrutural desses elementos oportuniza maiores possibilidades de desenvolvimento de capacidades locais e, conseqüentemente, contribuem para a sofisticação produtiva a longo prazo.

Os resultados do trabalho sugerem duas direções de enfrentamento a serem perseguidas em busca da sofisticação produtiva. A primeira é relacionada ao forte direcionamento e especialização produtiva em recursos naturais e manufaturas baseadas em recursos naturais, no qual a concentração da estrutura produtiva e do desempenho exportador nessas atividades revelaram ter pouco êxito no processo de sofisticação. Isto porque as *capabilities* associadas são naturalmente reproduzíveis resultando em grande ubiquidade, baixo adensamento do tecido produtivo e permanência no ciclo da *quiescence trap*. Assim, é necessário fomentar atividades e setores que possam romper essa armadilha da baixa complexidade e que conjuntamente aprimorem a migração para uma estrutura produtiva associada com uma trajetória de crescimento sustentado de longo prazo.

A segunda frente remete aos fatores estruturais (infraestrutura, capital humano, diversidade produtiva), cujos aperfeiçoamentos são essenciais para reunir, desenvolver, complementar e aplicar de forma efetiva *capabilities*. Mudanças e aprimoramentos estruturais demandam tempo, acúmulo de conhecimento e de esforços, investimentos vultosos, dentre outras condições. Diante disso, a participação do setor público como um agente ativo nesse processo não deve ser desprezada, de modo que políticas públicas de fomento à diversificação de *capabilities*, fortalecimento institucional, estabilidade política e uma agenda de sofisticação bem estabelecida com foco em fatores estruturais são alguns exemplos de medidas que podem auxiliar na melhoria da estrutura produtiva brasileira e, conseqüentemente, avançar em direção aos benefícios de longo prazo vinculados à sofisticação. Logo, a capacidade de viabilizar o progresso estrutural, em suas diversas frentes está fortemente associada com a atuação pública eficiente e clara rumo ao aprimoramento estrutural, de modo a funcionar como um *push point*, estabelecendo impulsos capazes de transbordar positivamente. Isso se torna especialmente relevante no contexto da armadilha de baixa complexidade, em que a atuação pública eficaz pode impulsionar avanços na trajetória da diversificação e não ubiquidade.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. F. L. et al. Complexidade econômica e desenvolvimento: uma análise do caso latinoamericano. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 247-271, 2018.

ANDRÉS, L; BILLER, D; DAPPE, M. Infrastructure gap in South Asia: infrastructure needs, prioritization, and financing. **Policy Research Working Paper 7032**, Washington: D.C.: World Bank, sep. 2014.

CAMARGO, J.; GALA, P. The resource curse reloaded: revisiting the Dutch disease with economic complexity analysis. **Working Paper 448**, São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, mar. 2017.

CARVALHO, D. E. et al. Complexidade econômica e crescimento do PIB per capita: uma análise de diferenças em diferenças para os municípios brasileiros. In: 50º ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. **Anais...** Fortaleza, dez. 2022.

DATAVIVA. [s. l.], 2022. **Complexidade Econômica**. Disponível em: <http://dataviva.info/pt/rankings/>. Acesso em: 25 set. 2023.

DING, X.; HADZI-VASKOV, M. Composition of Trade in Latin America and the Caribbean. **Working Paper WP/17/42**, International Monetary Fund, mar. 2017.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.

ERKAN, B.; YILDIRIMCI, E. Economic complexity and export competitiveness: the case of Turkey. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, Elsevier: v. 195, n. 3, p. 524-533, jul. 2015.

ERKAN, B; CEYLAN, F. Determinants of Economic Complexity in Transitional Economies. **Journal Transition Studies Review**, v. 28, n. 2, p. 57-80, 2021.

FAGGIAN, A.; MODREGO, F.; MCCANN, P. Human capital and regional development. In: CAPELLO, R.; NIJKAMP, P. **Handbook of Regional Growth and Development Theories**, p. 149-171, 2019.

GALA, P.; ROCHA, I.; MAGACHO, G. The structuralist revenge: economic complexity as an important dimension to evaluate growth and development. **Brazilian Journal of Political Economy**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 219-236, 2018.

HARTMANN, D. et al. A. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. **World Development**, v. 93, p. 75-93, 2017.

HAUSMANN, R.; HWANG, J.; RODRIK, D. What you export matters. **Journal of Economic Growth**, v. 12, n. 1, p. 1 -25, 2007.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. Country diversification, product ubiquity, and economic divergence. **HKS Faculty Research Working Paper Series RWP10-045**, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, 2010.

HIDALGO, C. A. Economic complexity theory and applications. **Nature Reviews Physics**, v. 3, n. 2, p. 92-113, 2021.

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The Building Blocks of Economic Complexity. **PNAS**, Cambridge, v. 106, n. 26, p.10.570-10.575, jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>.

HIDALGO, C. A. et al. The Product Space Conditions the Development of Nations. **Science**, v. 317, p. 482-487, 2007.

IM, K. S.; PESARAN M. H.; SHIN, Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics**, v. 115, n. 1, p. 53-74, jul. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7).

LALL, S. The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-1998. **QEH Working Paper Series 44**, 2000.

LARA-RODRÍGUEZ, J.; FURTADO, A. T.; ALTIMIRAS-MARTIN, A. Materias primas críticas y complejidad económica en América Latina. **Apuntes del Cenes**, Colômbia, v. 37, n. 65, p. 15-51, 2018.

LEVIN A.; LIN C.; CHU C. J. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. **Journal of Econometrics**, v. 108, n. 1, p. 1-24, 2002.

LYUBIMOV, I. L.; OSPANOVA, A. G. How to make an economy more complex? The determinants of complexity in historical perspective. **Voprosy Ekonomiki**, v. 2, 2019. DOI:[10.32609/0042-8736-2019-2-36-53](https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-2-36-53).

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e Serviços. COMEXSTAT. versão 2.0, 2023. **Consultas de exportação e importação**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 25 set. 2023.

OECD - Observatory of Economic Complexity. **Rankings**, 2022.

ORSOLIN TEIXEIRA, F.; JOSÉ MISSIO, F.; DATHEIN, R. Economic complexity, structural transformation and economic growth in a regional context: Evidence for Brazil. **PSL Quarterly Review**, v. 75, n. 300, 2022.

PEDRONI, P. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 61, n. 1, p. 653-670, 1999.

PEDRONI, P. Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels and the case of purchasing power parity. **Manuscript, Department of Economics**, Indiana University, v. 5, p. 1-45, 1996

PESARAN, M. H. A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. **Journal Applied Econometrics**, v. 22, p. 265-312, 2007.

PESARAN, M. H.; SHIN, Y. An Autoregressive Distributed-Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis. In: STROM, S. (ed.). **Econometrics and Economic Theory in the 20th Century**, Cambridge, p. 371-413, 1999.

PESARAN, M. H.; SHIN, Y.; SMITH, R. P. Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. **Journal of the American Statistical Association**, v. 94, n. 446, p. 621-634, 1999. DOI:[10.2307/2670182](https://doi.org/10.2307/2670182).

SALLES, F. C. et al. A armadilha da baixa complexidade em Minas Gerais: o desafio da sofisticação econômica em um estado exportador de commodities. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 17, p. 33-62, 2018.

THE GROWTH LAB AT HARVARD UNIVERSITY. **Atlas of Economic Complexity**. 2022. Disponível em: <http://www.atlas.cid.harvard.edu>. Acesso em: 10 mai. 2023.

TUROLLA, F. A.; OHIRA, T. H. **A economia do saneamento básico**. Ciclo de debates EITT, do grupo de estudos em economia industrial, trabalho e tecnologia do programa de estudos pós-graduados em economia política da PUCSP, São Paulo, v. 3, 2005.

YALTA, A. Y.; YALTA, T. Determinants of economic complexity in MENA Countries. **JO-EEP: Journal of Emerging Economies and Policy**, v. 6, n. 1, p. 5-16, 2021.

ZHU, S. *et al.* What drives the export sophistication of countries. **Journal of World Economic**, v. 4, p. 28-43, 2010.

ZHU, S; LI, R. Economic complexity, human capital and economic growth: empirical research based on cross country panel data. **Journal Applied Economics**, v. 49, n. 38, p. 3815-3828, 2017.

A RELAÇÃO ENTRE GASTOS PÚBLICOS POR ALUNO E QUALIDADE EDUCACIONAL DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS

The relationship between per-student public spending and educational quality in brazilian municipalities

Jayne Freires Ferreira

Economista. Doutoranda em Economia Rural. Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977 - Bloco 826 - Campus do Pici, 60020-18, Fortaleza, Ceará, Brasil. jayfreires2014@gamil.com.

Jair Andrade de Araújo

Engenheiro de Pesca e Bacharel em Direito. Doutor em Economia. Professor. Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977 - Bloco 826 - Campus do Pici, 60020-18, Fortaleza, Ceará, Brasil. jairandrade@ufc.br

Gerrio dos Santos Barbosa

Economista. Doutor em Economia. Pesquisador DCR-CNPq. Universidade Federal do Ceará. R. Cel. Estanislau Frota, 563 - Centro, 62010-560, Sobral, Ceará, Brasil. gerriosantos@gmail.com

Francisco José Silva Tabosa

Economista. Doutor em Economia. Professor. Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hull, 2977 - Bloco 826 - Campus do Pici, 60020-18, Fortaleza, Ceará, Brasil. franzetabosa@ufc.br

Resumo: O objetivo desse estudo é analisar a relação entre gastos públicos com educação por aluno e desempenho educacional dos municípios brasileiros entre o período de 2013 a 2019. Para isso, foram utilizados os microdados do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) no 5º e 9º ano do ensino fundamental, nas disciplinas de Língua Portuguesa e Matemática. Considerou-se uma amostra de 4.027 municípios utilizando a metodologia de painel com efeitos fixos que controla as características não observáveis e invariantes ao longo do tempo. Os resultados apresentaram que um aumento de 1% nas despesas aumenta o desempenho no 5º ano em português e matemática em aproximadamente 0,2%, enquanto no 9º ano, os aumentos são de 0,018% e 0,014% em português e matemática, respectivamente.

Palavras-chaves: Educação, desempenho, gastos.

Abstract: The objective of this study is to analyze the relationship between public spending on education per student and the educational performance of Brazilian municipalities during the period from 2013 to 2019. For this purpose, microdata from the Basic Education Assessment System (Saeb) for the 5th and 9th grades of elementary school, in the subjects of Portuguese Language and Mathematics, were utilized. A sample of 4.027 municipalities was considered, employing a fixed-effects panel methodology that controls for unobservable and time-invariant characteristics. The results showed that a 1% increase in expenditures improves performance in the 5th grade by approximately 0,2% in Portuguese and Mathematics, while in the 9th grade, the increases are 0,018% and 0,014% in Portuguese and Mathematics, respectively.

Keywords: Education, performance, spending.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o sistema educacional brasileiro promoveu avanços significativos no acesso à educação para a população. De acordo com dados do Anuário da Educação Básica de 2021, o ensino fundamental praticamente alcançou a universalização, com 98% das crianças e jovens entre 6 e 14 anos frequentando a escola. Todavia, em números absolutos, o quantitativo de alunos que ainda não tem acesso à educação formal é excepcionalmente significativo. Houve também um aumento relevante do acesso à educação para a população brasileira de 18 a 29 anos com escolaridade média de 11,8 anos de estudo (Todos Pela Educação, 2021).

No entanto, mesmo com o avanço considerável na frequência escolar, muitos problemas ainda persistem, especialmente relacionados à qualidade do ensino. Os resultados do Pisa¹, que avaliou alunos de 15 anos de idade em 2022, comparado com 81 países, posicionam o Brasil entre a 44ª e 57ª posição no *ranking* de desempenho em leitura, entre a 62ª e 69ª em matemática e entre a 53ª e 64ª em ciências (MEC, 2023). Perante isso, uma das mudanças mais discutidas para contornar esse cenário é a destinação de recursos direcionados ao sistema educacional, uma vez que se acredita que aumentos nos gastos refletem em melhorias no aprendizado escolar. Contudo, é essencial destacar que essa abordagem não se resume em apenas aumentar o orçamento, mas demanda investimentos estratégicos e políticas bem direcionadas.

Nessa ótica, o investimento público total em educação no Brasil equivaleu a 6,3% do PIB (Produto Interno Bruto) no ano de 2017. Observou-se uma disparidade significativa nos gastos por aluno entre a educação básica e o ensino superior, com os gastos no ensino superior sendo 3,8 vezes maiores que na educação básica. Uma referência importante para se avaliar o investimento do Brasil em educação básica são os valores empenhados, que passaram de R\$ 56,8 bilhões em 2013 para R\$ 41,7 bilhões em 2020, indicando uma redução de aproximadamente 26% nas despesas destinadas à educação básica no período (Todos Pela Educação, 2021).

Posto isso, analisar a relação entre gastos em educação e desempenho educacional é importante para identificar se a aplicação de recursos públicos está sendo efetiva, de forma que reflita na qualidade da educação. Nesse contexto, com o intuito de contribuir para estudos na área que não encontram concórdia em suas análises, esta pesquisa tem como objetivo analisar a relação entre gastos públicos por aluno no ensino fundamental e desempenho educacional nos municípios brasileiros na rede pública de ensino. O desempenho é mensurado pelos testes de proficiência em língua portuguesa e matemática aplicados aos estudantes do 5º e 9º ano no Saeb. Além disso, foi construído um painel de dados abrangendo os anos de 2013, 2015, 2017 e 2019 com efeitos fixos que controla as características não observáveis e invariantes ao longo do tempo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A extensa literatura que versa sobre os desafios do Estado em aprimorar a qualidade da educação pública traz consigo conhecimentos consolidados. A ideia de que aumentar o investimento em educação é a solução para melhorar a baixa qualidade de ensino, não demonstra aderência nos estudos empíricos. Explicitamente sobre as pesquisas que norteiam uma relação entre gastos e desempenho escolar, busca-se responder se o aumento de tais gastos tem algum efeito sobre a proficiência dos alunos, de forma que, mesmo com uma série de estudos que realizaram essa relação, não há consenso nos resultados encontrados.

Do ponto de vista empírico, Hanushek (1989) traça um arcabouço das primeiras evidências empíricas que relacionaram gastos com educação e resultados em avaliações externas. Embora muitos estudos abordem uma associação positiva entre gastos e desempenho escolar, Hanushek argumenta que esse efeito desaparece quando se controla pelas diferenças das características da família. Portanto, ele conclui que variações nos gastos não estão consistentemente correlacionadas ao desempenho dos es-

¹ É uma avaliação trienal aplicada a alunos de 15 anos em cerca de 80 países, a maior parte deles é da própria OCDE. O Brasil participa como país convidado e a aplicação do exame, em 2018, envolveu 597 escolas públicas e privadas e 10.961 alunos brasileiros.

tudantes, pois essas discrepâncias frequentemente refletem desigualdades estruturais, como diferenças na qualificação dos professores ou em outros fatores externos à escola. Além disso, o autor sugere que políticas educacionais focadas somente no aumento de insumos podem não ser eficazes e defende a priorização de incentivos ao desempenho.

Opondo-se à essa abordagem, Greenwald, Hedges e Laine (1996) revisitaram uma gama de estudos anteriores para fornecer evidências robustas sobre a relação entre os recursos educacionais e o desempenho dos alunos. Os artigos selecionados utilizaram dados em nível distrital ou em unidades territoriais menores, incorporando características socioeconômicas ou adotando um desenho longitudinal. Por conseguinte, a análise indicou que uma variedade de recursos estava correlacionada positivamente com o sucesso educacional, com efeitos suficientes para aludir que aumentos moderados nos gastos estão relacionados com aumentos significativos no desempenho.

Com o objetivo de explorar os principais determinantes da qualidade educacional, avaliada por meio de pontuações em testes internacionais, taxas de repetência e taxas de abandono, Lee e Barro (2001) empregaram um painel que incorpora medidas de *output* e *input* em diversos países. Os pesquisadores observaram que características familiares, como a renda e a educação dos pais, apresentam associação com o desempenho dos alunos. Descobriram também que a razão professor-aluno tem um forte e positiva correlação com os resultados escolares. Por outro lado, os efeitos mais sutis, mas ainda positivos, surgem em relação ao salário médio dos professores e ao período escolar. Além disso, o PIB *per capita* apresentou uma correlação insignificante com o desempenho em avaliações de matemática e ciências, mas uma correlação positiva nos testes de leitura.

Por sua vez, Woessmann (2003) desenvolveu um modelo para elucidar o funcionamento dos sistemas educacionais. O autor buscou estimar o efeito do contexto familiar, dos recursos e instituições escolares no desempenho em matemática e ciências em 39 países no período de 1994 e 1995. Utilizando dados individuais do *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMSS) com uma amostra representativa de 260.000 estudantes, foi empregado uma função de produção educacional estimada por Mínimos Quadrados Ponderados. Os resultados destacaram que as discrepâncias de desempenho entre países, em termos de qualidade educacional, não se correlacionavam com as diferenças de gastos com educação, mas com as divergências dos sistemas de ensinos, por exemplo: testes centrais; mecanismos de controle em assuntos curriculares e orçamentais; e autonomia escolar em processos e decisões de pessoal.

Em âmbito nacional, Menezes Filho e Pazello (2007) investigaram os efeitos do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério (Fundef) sobre os salários relativos dos professores das escolas públicas e sobre o desempenho dos estudantes do 9º ano do ensino fundamental. Para isso, utilizaram dados do Saeb baseando-se na metodologia de diferenças em diferenças comparando o desempenho de alunos entre escolas públicas e privadas nos anos de 1997 e 1999. As evidências apresentaram que, em média, o Fundef aumentou os salários relativos dos professores e melhorou o desempenho dos alunos da rede pública.

Já Menezes Filho e Amaral (2009) analisaram se os gastos com educação elevaram o desempenho dos alunos do 5º e 9º ano do ensino fundamental. Para mensurar esse efeito, os autores utilizaram dados das notas da Prova Brasil em língua portuguesa e matemática e das despesas com educação fundamental. Ao controlar pela escolaridade média da população, proporção de docentes com ensino superior, quantidade de horas-aula e *dummies* de unidade da federação, os autores encontraram efeitos pequenos e estatisticamente insignificantes dos gastos sobre o desempenho nos testes. Ademais, por meio de regressões quantílicas, encontraram que o efeito dos gastos sobre a performance escolar no 5º ano ocorre somente nos municípios situados no quantis mais altos.

Menezes Filho e Oliveira (2014) conduziram uma pesquisa que analisou a relação entre gastos por aluno e a qualidade educacional nos municípios brasileiros. Nessa perspectiva, os autores aplicaram os dados do Saeb nos anos de 2005, 2007, 2009 e 2011, empregando métodos de regressão de dados em painel na análise da função de produção educacional. Em síntese, os resultados destacaram a exis-

tência de uma correlação positiva entre gastos por aluno e a performance dos estudantes em língua portuguesa e matemática.

No que concerne à Monteiro (2015), procurou analisar se o aumento dos gastos públicos em educação, proporcionados pelo aumento das receitas de *royalties*, impactou na quantidade e qualidade do ensino nos municípios brasileiros entre os anos de 2000 e 2010. Aplicando uma análise de regressão linear, os achados mostraram que o acréscimo das despesas está relacionado com a ampliação da população, mensurada em termos de anos de estudo e redução do analfabetismo. Porém, não houve reflexos de melhora na qualidade do sistema de ensino medida pelas notas do Saeb no 5º e 9º ano do ensino fundamental.

Panassol (2018) buscou identificar se os maiores gastos no ensino fundamental melhoram a qualidade de ensino nos municípios do estado do Rio Grande do Sul. Para isso, utilizaram os resultados do Ideb no ano de 2015, aplicando variáveis de controle relacionadas aos alunos, às escolas, aos professores e à gestão municipal. A estratégia empírica correspondeu a uma estimação de modelos MQO e regressão quantílica baseados na função de produção de Hanushek e Luque (2003), atribuindo diferentes variáveis em cada um dos modelos. Os resultados mostraram que os gastos podem apresentar correlação positiva ou não com o desempenho escolar dependendo das variáveis explicativas utilizadas. Precisamente, um aumento de 1% na média nas despesas com ensino fundamental aumentou o resultado no IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica) em aproximadamente 0,009%, ou seja, não existe uma relevância econômica significativa no que concerne a relação entre gastos e desempenho educacional.

Já Kroth e Gonçalves (2019) buscaram analisar o efeito dos gastos com educação e gastos sociais (assistência social, saúde e cultura) sobre o desempenho educacional nas avaliações do Saeb para o ensino fundamental nos anos de 2007, 2009 e 2011. Utilizando uma amostra de 4.655 municípios brasileiros, os autores aplicaram variáveis instrumentais (GMM – *Generalized Method of Moments*) de dados em painel. Os resultados apresentaram que os gastos públicos educacionais e sociais municipais impactam de forma positiva e significativa da qualidade da educação, sugerindo uma complementaridade entre gastos educacionais e sociais para ampliar a qualidade da educação.

Após o aumento do investimento em educação proporcionados pelo Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação (Fundeb), Alves e Frio (2022) analisaram a eficiência dos gastos municipais em educação dos municípios brasileiros sobre o IDEB. Metodologicamente, os autores empregaram um painel de dados nos anos de 2011, 2013, 2015 e 2017, incorporando o método de fronteira estocástica variante e invariante no tempo para o 5º e 9º ano do ensino fundamental. Os resultados enfatizaram que os gastos defasados possuem uma relação positiva com o Ideb, da mesma forma que a porcentagem de professores com ensino superior e mães com ensino superior.

3 METODOLOGIA

Esta seção destina-se em apresentar as principais fontes de dados aplicados na pesquisa juntamente com a descrição das variáveis, bem como descrever o modelo econométrico para os dados em painel e os testes de especificação.

3.1 Base de dados e descrição das variáveis

A base de dados foi compilada a partir de três fontes principais referentes aos anos de 2013, 2015, 2017 e 2019. Elas incluem: o Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb), principal mecanismo de análise da qualidade do ensino fundamental e do ensino médio em âmbito municipal, estadual e federal; o Censo Escolar, é o principal instrumento de coleta de informações da educação básica e mais importante pesquisa estatística educacional brasileira; e o Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (Siconfi)², do Tesouro Nacional, que disponibiliza as despesas municipais por função.

² Disponível em: <https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/index.jsf>

Levando em consideração essas informações, a descrição das variáveis dependentes e de controle estão explícitas no Quadro 1. Nesse contexto, a qualidade da educação é mensurada pelo resultado dos testes de proficiência no Saeb em língua portuguesa e matemática para os 5º e 9º ano do ensino fundamental. Embora a qualidade possa envolver diversas dimensões, essa escolha se dá em detrimento da disseminação de seu uso na literatura internacional e nacional. Como é destacado por Hanushek e Woessmann (2010), os testes de proficiência são uma boa *proxy* para estimar a qualidade de educação. Vale ressaltar que os dados foram compilados em nível municipal, considerando os resultados das escolas públicas municipais e estaduais³, desconsiderando, dessa forma, as escolas federais e privadas.

Para construir a variável de gastos públicos municipais por aluno, foram utilizados os dados fornecidos pelo Siconfi/Tesouro Nacional, precipuamente das despesas municipais por função, considerando exclusivamente as despesas pagas⁴ com o ensino fundamental de cada ano estudado. Após a obtenção dos gastos em educação, estes foram ajustados pelo quantitativo de alunos matriculados, conforme os dados do Censo Escolar. Cabe enfatizar que serão aplicados nas estimações o mesmo quantitativo de despesas para explicar o desempenho em português e matemática para as turmas de 5º e 9º ano do ensino fundamental.

A variável de gastos públicos em saúde *per capita* foi elaborada utilizando dados do Siconfi/Tesouro Nacional, nos quais os gastos foram divididos pela população total dos municípios, obtida por meio dos dados do IBGE. O intuito é que um investimento maior no sistema de saúde possa resultar em melhorias no bem-estar, na capacidade física e intelectual, e, por conseguinte, no aprendizado dentro do município. De acordo com Hanushek e Woessmann (2010), saúde e nutrição são fatores que impactam as habilidades cognitivas dos indivíduos.

A razão professor-aluno no ensino fundamental é derivada dos dados do Censo Escolar para os anos investigados. Os dados dessa fonte estão em nível escolar, sendo realizado uma média a nível de município, contemplando todos os professores que lecionam na educação fundamental. Então, essa variável se torna relevante, uma vez que reflete a capacidade de atendimento educacional no município, onde um número maior indica mais professores disponíveis para dedicar-se mais tempo a cada estudante. Uma proporção maior da razão professor-aluno frequentemente está relacionada a melhores condições de ensino e, conseqüentemente, melhores resultados educacionais. Os resultados obtidos a partir dessa variável possibilitam informar políticas educacionais e direcionar a alocação de recursos visando melhorias na qualidade do sistema educacional.

Quadro 1 – Descrição das variáveis

Variáveis	Descrição	Fonte
Variáveis dependentes		
nota_mt5	Proficiência em matemática para o 5º ano do ensino fundamental	Saeb
nota_mt9	Proficiência em matemática para o 9º ano do ensino fundamental	Saeb
nota_lp5	Proficiência em língua portuguesa para o 5º ano do ensino fundamental	Saeb
nota_lp9	Proficiência em língua portuguesa para o 9º ano do ensino fundamental	Saeb
Variáveis explicativas		
GEA	Gastos públicos por aluno no ensino fundamental	Siconfi e Censo Escolar
GSpC	Gastos públicos com saúde per capita	Siconfi e IBGE
prof_aluno	Razão professor-aluno no ensino fundamental	Censo Escolar
mae_sup	Quantidade de mães com ensino médio e superior no 5º e 9º ano	Saeb

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

A variável referente à escolaridade das mães (com ensino médio e superior) foi extraída dos dados do Saeb para o 5º e 9º ano do EF e será incluída no modelo de regressão conforme a variável dependente utilizada. Especificamente, se o desempenho do 5º ano for a variável dependente, a escolaridade das mães desse grupo será considerada; o mesmo se aplica para o desempenho do 9º ano. Desse modo,

³ Visto que há escolas estaduais que oferecem ensino fundamental.

⁴ Corresponde às despesas para as quais os pagamentos foram efetuados. Então, após uma despesa ser empenhada e, posteriormente, liquidada, o pagamento é processado para finalizar a transação. Assim, quando um pagamento é feito, a despesa é considerada paga.

a literatura econômica esboça que a educação dos pais e o ambiente familiar desempenham papéis significativos na trajetória escolar e desenvolvimento dos estudantes. Com essa afirmação, Carneiro e Heckman (2003) mostram que a família afeta tanto as características cognitivas quanto não cognitivas dos seus membros, com efeitos sobre o sucesso escolar e socioeconômico.

Para tanto, é fundamental destacar que as variáveis em termos monetários foram deflacionadas de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) referente ao ano de 2019. Ademais, todas as variáveis passaram por um processo de linearização (transformação logarítmica) para lidar com problemas de normalidade, especialmente devido à presença de *outliers*, como é o caso de grandes municípios. Essa transformação permite examinar os coeficientes em termos percentuais facilitando a interpretação dos resultados.

3.2 Função de Produção Educacional

A questão educacional não se refere apenas ao quantitativo de anos de estudo, mas especialmente à qualidade dos anos de escolaridade existentes. A forma mais geral para se medir os determinantes do desempenho escolar é por meio da função de produção educacional, apresentada, a princípio, por Coleman (1966). Desde esse período, tanto a literatura internacional quanto a literatura nacional têm se dedicado em estabelecer qual a finalidade ou produto de um sistema de ensino: maximizar o desempenho médio dos estudantes, reduzir as disparidades de conhecimento entre aluno, oferecer capacidades cognitivas gerais ou desenvolver competências e habilidades necessárias para o mercado de trabalho (Waltenberg, 2006).

Os estudos trouxeram analogia da teoria da firma buscando compreender a tecnologia de combinar os insumos escolares e familiares, de modo que o resultado educacional seja maximizado. A literatura econômica apresenta uma variedade de controles que podem ser incorporadas na função de produção da educação que podem exercer influência nos resultados educacionais (Todd; Wolpin, 2003). Nessa percepção, Hanushek e Luque (2003) atribuem a seguinte estrutura geral da estimativa dessa função:

$$Y=f(X,R) \quad (1)$$

em que, Y equivale ao resultado educacional, X representa os *inputs* associados aos recursos escolares e corresponde ao conjunto de elementos que influenciam a educação, especialmente, nível de escolaridade da família (Lee; Barro, 2001).

A literatura empírica constata os testes de proficiência como uma boa *proxy* para mensurar a qualidade educacional de um país, pois conseguem agregar muito do conhecimento cognitivo dos alunos, não somente aqueles conquistados no ambiente escolar (Hanushek, 2006; Hanushek; Wossmann, 2007, 2010). Segundo Hanushek (2006), essa forma de medir desempenho está correlacionada com a produtividade, rendimentos individuais e o crescimento do produto de um país.

3.3 Modelo de dados em painel

O modelo de dados em painel, também conhecido como modelo de dados longitudinais ou modelo de efeitos fixos/aleatórios, é utilizado para analisar dados advindos de unidades observadas ao longo do tempo, combinando dados em *cross section* (várias unidades em um único ponto no tempo) e dados de séries temporais (observações repetidas durante o período as mesmas unidades) (Wooldridge, 2006). Dada a disponibilidade de um conjunto de dados em painel, será empregado o modelo econométrico de dados em painel com efeitos fixos, pois traz vantagens de se controlar diferenças não observadas e invariáveis ao longo do tempo. Desse modo, o modelo pode ser descrito como:

$$Y_{it}=X_{it}\beta+c_i+u_{it} \quad \text{“ para “} \quad t=1,2,\dots,T \quad (2)$$

Para analisar a relação entre gastos públicos por aluno e desempenho educacional, a equação 3 apresenta o modelo que será estimado. É válido mencionar que as variáveis foram logaritmizadas, então, os seus coeficientes representarão suas elasticidades correspondentes.

$$\ln(nota_{it})=\beta_1 \ln(GEA_{it})+\beta_2 \ln(GSp_{it})+\beta_3 \ln(prof_aluno_{it})+\beta_4 \ln(mae_sup_{it})+c_i+u_{it} \quad (3)$$

em que, $nota_{it}$ são as notas em matemática e língua portuguesa para o 5º e 9º ano do ensino fundamental no município i no tempo t ; GEA_{it} é um vetor dos gastos por aluno no município i no tempo t ; GSp_{it} são os gastos públicos com saúde *per capita* no município i no tempo t ; $prof_aluno_{it}$ é a razão professor-aluno no município i no tempo t ; mae_sup_{it} é a quantidade de mães com ensino médio ou superior no município i no tempo t ; c_i é o efeito específico não observado do município; e u_{it} são os distúrbios idiossincráticos, pois se alteram tanto em t como em i . Os parâmetros de interesse $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, equivalem às relações condicionais dos insumos sobre o desempenho educacional.

Contudo, faz-se necessário realizar alguns testes de especificação do painel para identificar qual o melhor modelo que se adequa aos dados. Diante disso, o teste de Breush-Pagan é usado para determinar qual dos modelos é o mais preferível, o modelo *pooled* ou modelo de efeitos aleatórios. Já o teste F é utilizado para decidir entre o modelo *pooled* ou modelo de efeitos fixos e por fim, o teste de Hausman é utilizado para decidir entre os modelos de efeitos aleatórios () e efeitos fixos ()).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os principais resultados encontrados por meio da aplicabilidade dos métodos estabelecidos. Discutir-se-á, inicialmente, algumas evidências iniciais a partir da estatística descritiva e, em seguida, a análise econométrica.

4.1 Estatística descritiva

Dando início às investigações, a Tabela 1 fornece um resumo estatístico abrangente do desempenho em português e matemática no 5º e 9º do ensino fundamental, com a frequência absoluta, média e desvio padrão entre o período de 2013 e 2019. Perante o exposto, é perceptível que os resultados nos exames de proficiência estão, em média, mais elevados com o passar do tempo nas respectivas disciplinas. A variação das notas correspondeu a um aumento de 8,9% e 7,2% no 5º ano do EF, e 6% e 4,9% no 9º ano do EF para português e matemática, respectivamente. Embora a variação do rendimento educacional seja consideravelmente pequena, a turma do 5º ano do EF possui um maior percentual de evolução na performance no Saeb dentro do intervalo em estudo.

Tabela 1 – Estatística descritiva da proficiência em Língua Portuguesa e Matemática para o 5º e 9º ano entre 2013 e 2019

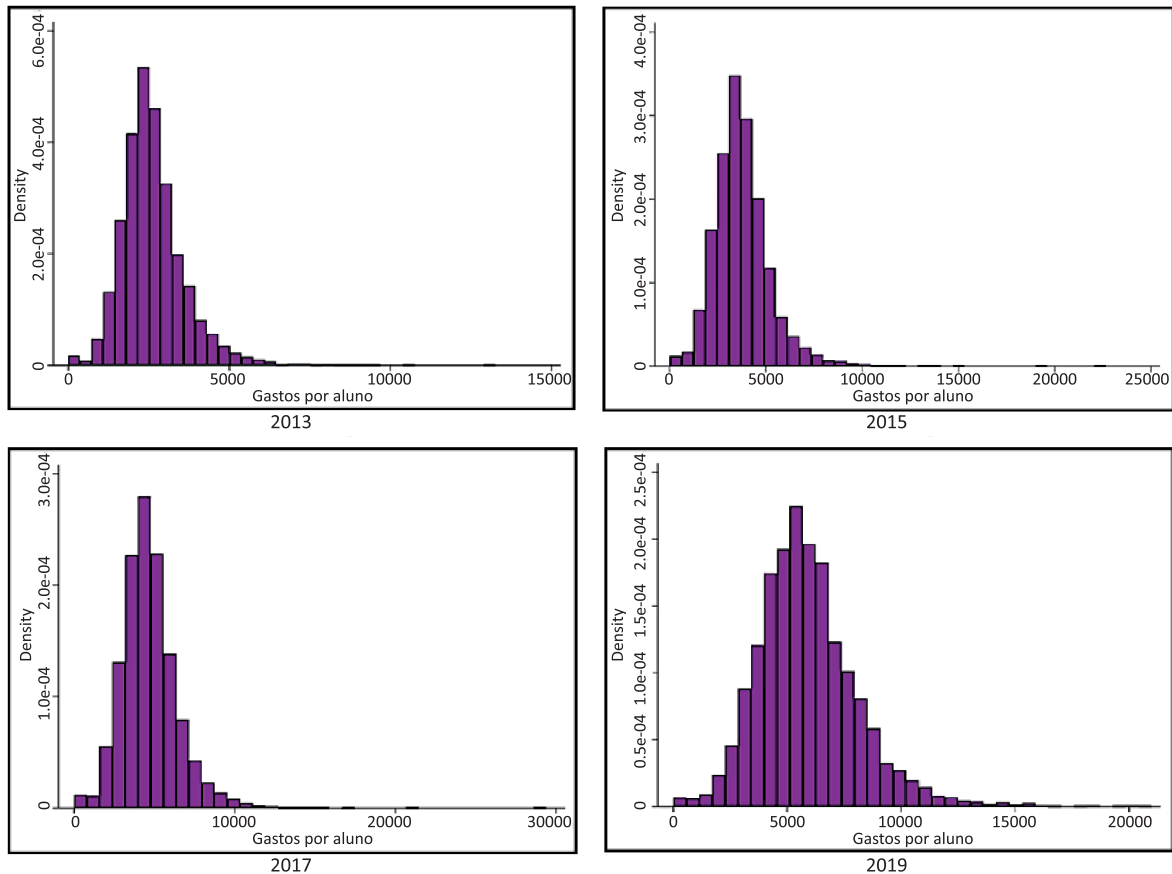
Ano / série	Freq. absoluta	Língua Portuguesa		Matemática	
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
5º ano					
2013	4.027	192,62	22,89	209,22	26,90
2015	4.027	203,33	21,12	217,24	22,64
2017	4.027	209,65	21,66	220,79	23,54
2019	4.027	209,68	21,20	224,37	23,21
Total	16.108	203,57	22,94	217,91	23,22
9º ano					
2013	4.027	238,87	17,29	245,52	19,33
2015	4.027	246,31	16,76	251,22	16,95
2017	4.027	251,70	17,08	252,15	18,91
2019	4.027	253,15	15,93	257,49	18,22
Total	16.108	247,51	17,68	251,59	18,86

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Saeb de 2013 a 2019.

O Gráfico 1 realça a distribuição dos gastos municipais por aluno no ensino fundamental entre o período de 2013 e 2019. Os valores apresentados na ilustração correspondem às variáveis originais, sem transformação logarítmica, para verificar a distribuição real dos gastos por aluno. Subsequentemente, será aplicada a transformação logarítmica nas análises para reduzir a variabilidade e estabilizar a dispersão dos dados.

Nesse contexto, o sumário estatístico referente a essa variável apresentou que a média em 2013 foi de R\$ 2.629,60 unidades monetárias e desvio padrão R\$ 1.017,04; em 2015 equivaliu a R\$ 3.773,34 e desvio padrão R\$ 1.481,56; já em 2017 foi de R\$ 4.687,14 e desvio padrão R\$ 1.777,89; e em 2019, essa média correspondeu a R\$ 5.904,24 e desvio padrão R\$ 2.225,45. A distribuição assimétrica significa que a maioria das observações está concentrada em valores mais baixos de gastos com educação por aluno, enquanto há poucas observações em valores mais altos.

Gráfico 1 – Histograma da distribuição dos gastos por aluno entre 2013 e 2019



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Para fortalecer os resultados encontrados, no Apêndice A são encontrados os resultados do modelo para um painel desbalanceado, contemplando todos os municípios para cada ano, totalizando em 22.280 observações. Nesse painel, a presença de dados ausentes em algumas variáveis resulta no desbalanceamento. Diante disso, em seguida serão apresentados os resultados da estimação do modelo para o painel balanceado.

4.2 Estimação do modelo

Os resultados das estimações dos modelos POLS, efeitos aleatórios e efeitos fixos serão apresentados lado a lado para permitir equiparar entre as diferentes abordagens de dados em painel. Com isso, a escolha do modelo mais adequado depende de várias considerações, incluindo a estrutura dos dados e a relevância teórica. É de praxe na literatura o uso de efeitos fixos, visto que é mais robusto à presença de correlação entre os efeitos individuais e as variáveis explicativas. Outrossim, a significância do teste Hausman também é essencial para validar a escolha entre os modelos, o qual mostrou que o modelo de efeitos fixos é mais apropriado, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Testes de especificação

Testes	5º ano		9º ano	
	Língua Portuguesa	Matemática	Língua Portuguesa	Matemática
Breush-Pagan	125,45 (0,000)	127,61 (0,000)	106,85 (0,000)	115,85 (0,000)
Teste F	14,33 (0,000)	15,80 (0,000)	8,51 (0,000)	11,26 (0,000)
Hausman	995,79 (0,000)	1.308 (0,000)	381,50 (0,000)	729,91 (0,000)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: *p-valores* entre parênteses.

Nesse contexto, é importante ressaltar, primeiramente, que as variáveis estão logaritimizadas, significando que os coeficientes representam as suas respectivas elasticidades. Sendo assim, a Tabela 3 revela os resultados dos modelos para dados em painel em português e matemática no 5º ano do EF, em que se destaca, de imediato, que todos os coeficientes foram significantes a um nível de 1%. Como uma forma de comparação para os demais modelos, os resultados do modelo POLS denotaram que os gastos com EF por aluno influenciam de forma negativa e significativa os resultados em português e matemática em aproximadamente 0,02% quando controlado pelas demais variáveis.

Em seguida, os resultados do modelo de efeitos aleatórios tratam das diferenças individuais de cada município como uma variável aleatória, onde são frequentemente utilizados quando se supõe que as características não observadas estão correlacionadas com a variável explicativa, mas não são de interesse direto. Diante disso, os coeficientes dos gastos com EF por aluno apresentaram sinais positivos, implicando que aumentos nas despesas induz a um incremento de 0,018% e 0,013% no desempenho em português e matemática, respectivamente.

No modelo de efeitos fixos, isto é, quando se controla as características não observáveis e constantes no tempo de cada município, os resultados foram um pouco mais expressivos quando equiparado ao modelo anterior. A estimativa demonstrou uma relação positiva entre os gastos com EF por aluno e as notas em português e matemática de aproximadamente 0,02%, ou seja, aumentos nas despesas tendem a elevar o desempenho municipal nessas disciplinas. De todo modo, embora os coeficientes indiquem estatísticas significantes diferentes de zero, a magnitude desses efeitos é consideravelmente pequena.

Vale ressaltar também os coeficientes das demais variáveis de controle nas especificações do modelo de efeitos fixos. Os gastos com saúde per capita possui coeficientes estatisticamente significantes e positivos, apresentando, por sua vez, que o reflexo da melhora desses gastos influencia na performance municipal em ambas as disciplinas avaliadas, com 0,066% em português e 0,049% em matemática. Após o controle dos fatores não observáveis e constantes no tempo, os coeficientes da variável razão professor-aluno mostraram uma influência positiva sobre o rendimento nas avaliações em 0,02% e 0,014% em ambas as disciplinas.

Em sequência, com a finalidade de controlar pela escolaridade dos pais, devido ao respaldo na literatura, os coeficientes da quantidade de mães com ensino médio e superior se manifestaram de forma positiva e significativa em 0,031% e 0,024% em português e matemática, respectivamente, no modelo de efeitos fixos. Tais resultados refletem o efeito geracional proveniente da educação, que sinalizam que pais mais instruídos tendem a ter filhos mais educados.

Tabela 3 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 5º ano do ensino fundamental

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno	-0,021*** (0,002)	0,018*** (0,001)	0,028*** (0,001)	-0,026*** (0,002)	0,013*** (0,001)	0,022*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,119*** (0,002)	0,077*** (0,001)	0,066*** (0,002)	0,113*** (0,002)	0,061*** (0,001)	0,049*** (0,002)
Razão professor/aluno	0,099*** (0,003)	0,054*** (0,004)	0,020*** (0,004)	0,100*** (0,004)	0,049*** (0,004)	0,014*** (0,004)
Educação da mãe	0,024*** (0,001)	0,025*** (0,001)	0,031*** (0,001)	0,019*** (0,001)	0,019*** (0,001)	0,024*** (0,004)
Constante	4,931*** (0,017)	4,746*** (0,014)	-	4,962*** (0,014)	4,962*** (0,014)	-
Observações	16.099	16.099	16.099	16.099	16.099	16.099
R ²	0,305	0,383	0,424	0,267	0,283	0,307

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

A Tabela 4 traça os resultados dos modelos para o desempenho em português e matemática no 9º ano do EF, enfatizando que os resultados encontrados para essa turma apresentam uma correlação mais fraca quando se equipara com o 5º ano do EF. Da mesma forma que nas evidências anteriores, os resultados para o modelo POLS mostraram uma relação negativa e significativa dos gastos com EF por aluno e a performance educacional nos exames de proficiência. Ao controlar por efeitos fixos, os achados sugeriram que um aumento de 1% nas despesas com educação eleva o desempenho dos alunos em 0,018% e 0,014% em português e matemática, respectivamente.

As outras descobertas continuam destacando a relevância das despesas com saúde e da educação das mães para melhorar a qualidade educacional, com coeficientes positivos e significantes. Nessa perspectiva, um aumento de 1% nos gastos com saúde aumenta o desempenho em 0,04% em português e 0,03% em matemática quando controlado por efeitos fixos e constantes no tempo de cada município. A quantidade de mães que possuem ensino médio e superior influenciam em 0,013% e 0,011% nos resultados dos testes das respectivas disciplinas. Em contrapartida, a relação professor-aluno apresentou coeficientes positivos, porém insignificantes, tanto em português quanto em matemática, não podendo, dessa forma, tirar conclusões sobre tais resultados.

Em síntese, os resultados das estimações demonstram a significância das variáveis independentes para explicar a qualidade da educação. Mesmo com a significância, os coeficientes das despesas com educação apresentaram-se muito baixos, já as despesas com saúde denotaram um retorno maior. Essa evidência pode induzir uma complementariedade desses dois tipos de gastos para proporcionar melhoria na qualidade educacional dos municípios na medida em que estimula melhores condições aos alunos e à escola.

A partir das evidências explícitas, permite-se inferir que as despesas com educação fundamental influenciam no desempenho escolar. Independentemente dos métodos e variáveis aplicadas nas análises, tais resultados não vão ao encontro de alguns estudos supracitados no primeiro momento sobre a relação dessas duas variáveis. O sinal dos coeficientes positivos e a significância estatística não estão de acordo com aqueles autores que não encontraram uma relação positiva entre gastos educacionais e qualidade no ensino (Hanushek; Kimko, 2000; Woessmann, 2003; Menezes-Filho; Amaral, 2009; Monteiro, 2015). Mas estão correlatos com alguns estudos nacionais (Menezes-Filho; Oliveira, 2014; Kroth; Gonçalves, 2019; Alves, Frio, 2022).

Tabela 4 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 9º ano do ensino fundamental

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno	-0,005*** (0,001)	0,011*** (0,001)	0,018*** (0,001)	-0,011*** (0,001)	0,007*** (0,001)	0,014*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,065*** (0,001)	0,050*** (0,001)	0,043*** (0,001)	0,065*** (0,001)	0,040*** (0,001)	0,031*** (0,001)
Razão professor/aluno	0,041*** (0,002)	0,022*** (0,003)	0,00001 (0,003)	0,051*** (0,002)	0,025*** (0,003)	-0,0002 (0,003)
Educação da mãe	0,012*** (0,0004)	0,011*** (0,001)	0,013*** (0,001)	0,008*** (0,001)	0,008*** (0,001)	0,011*** (0,001)
Constante	5,216*** (0,011)	5,127*** (0,010)	-	5,324*** (0,012)	5,258*** (0,010)	-
Observações	16.103	16.103	16.103	16.103	16.103	16.103
R ²	0,234	0,300	0,312	0,206	0,223	0,220

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Adicionalmente, a Tabela 5 delinea os resultados dos gastos com educação fundamental defasados em um período (t-1) sobre o desempenho do 5º ano do EF em português e matemática. Essa abordagem visa identificar se as despesas tendem a ter um efeito cumulativo ao longo do tempo, ou seja, se os recursos investidos podem afetar o desempenho educacional com o passar do tempo. Entretanto, ao se utilizar o estimador de efeitos fixos, as estimativas de todas as variáveis têm uma correlação menor quando comparado aos resultados com gastos por aluno sem defasagem.

Com coeficientes um pouco mais baixos, a associação entre os gastos com EF defasados para o 5º ano no modelo de efeitos fixos correspondeu a 0,016% e 0,013% em português e matemática, respectivamente. Os coeficientes dos gastos com saúde se apresentam análogos nas duas disciplinas, em 0,03%, de correlação com a variável resposta. Já a educação das mães influencia em 0,017% em português e um efeito quase nulo em matemática. Logo, apesar das estimativas serem quase nulas, ainda continuam positivas e significantes a um nível de 1%, com exceção da razão professor-aluno que não demonstrou estatisticamente significativa.

Tabela 5 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 5º ano do ensino fundamental com gastos em educação defasados

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno _(t-1)	-0,019*** (0,002)	0,007*** (0,001)	0,016*** (0,001)	-0,017*** (0,002)	0,006*** (0,001)	0,013*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,109*** (0,002)	0,051*** (0,002)	0,034*** (0,002)	0,110*** (0,002)	0,053*** (0,001)	0,038*** (0,002)
Razão professor/aluno	0,086*** (0,003)	0,040*** (0,003)	0,001 (0,004)	0,083*** (0,003)	0,038*** (0,003)	0,006 (0,004)
Educação da mãe	0,021*** (0,001)	0,016*** (0,001)	0,016*** (0,001)	0,020*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,007*** (0,001)
Constante	4,939*** (0,019)	4,994*** (0,014)	-	4,974*** (0,018)	5,056*** (0,013)	-
Observações	12.076	12.076	12.076	12.076	12.076	12.076
R ²	0,246	0,133	0,146	0,236	0,139	0,148

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

As estimativas para o 9º ano do EF presentes na Tabela 7 enfatizam uma relação ainda menor das variáveis explicativas sobre a variável dependente. Visivelmente, os desfechos dessas estimações su-

geriram que os coeficientes dos gastos com educação no período anterior estão correlacionados com aumentos nas notas de português e matemática, sendo mais expressivos no modelo de efeitos fixos. Pode-se perceber que os resultados nas duas disciplinas são parecidos, com destaque para a maior influência dos gastos com saúde per capita dentre todas as variáveis.

Tabela 6 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 9º ano do ensino fundamental com gastos em educação defasados

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno _(t-1)	-0,002*** (0,001)	0,007*** (0,001)	0,013*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	0,004*** (0,001)	0,008*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,061*** (0,001)	0,040*** (0,001)	0,027*** (0,001)	0,066*** (0,001)	0,040*** (0,001)	0,027*** (0,001)
Razão professor/aluno	0,037*** (0,002)	0,024*** (0,003)	-0,003 (0,004)	0,045*** (0,002)	0,031*** (0,003)	0,004 (0,004)
Educação da mãe	0,012*** (0,001)	0,012*** (0,001)	0,017*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,016*** (0,001)
Constante	5,204*** (0,012)	5,22*** (0,011)	-	5,248*** (0,013)	5,299*** (0,011)	-
Observações	12.076	14.820	14.820	14.820	14.820	14.820
R ²	0,192	0,148	0,160	0,198	0,121	0,134

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Em resumo, os resultados indicam que os gastos públicos destinados ao ensino fundamental são importantes tanto nas estimações sem defasagem quanto naquelas com defasagens. No entanto, os resultados revelam uma relação fraca com o desempenho educacional, sugerindo a possibilidade de que o volume de recursos investidos pelo país não estejam sendo suficientes para garantir a qualidade do ensino. Além disso, é plausível que ocorram problemas na gestão desses recursos, levando a uma alocação ineficiente deles.

Em linha com esses achados, Kroth e Gonçalves (2019) aborda duas possíveis explicações para os gastos municipais com educação terem apresentado coeficientes baixos, a saber: mesmo com o crescimento do montante de recursos para a educação no decorrer dos últimos anos, estes ainda estão a um nível baixo, aquém de promover ganhos de qualidade esperados. Nesse caso, os recursos financeiros recebidos pela escola podem não estar garantindo o mínimo para sua manutenção, isto é, com condições adequadas de infraestrutura, material didático e salas de aula; e à baixa capacitação dos professores, pois somente com o aumento salarial não promoveria ensino de qualidade.

Para agregar robustez às evidências encontradas nesta pesquisa, o Apêndice A apresenta as estimações com o painel desbalanceado para 5º e 9º ano do EF nas disciplinas de português e matemática. Nesse contexto, pode-se notar que os coeficientes dos gastos com educação apresentam o mesmo nível de correlação dos que as evidências delineadas em todas as tabelas dessa pesquisa, ou seja, demonstram a consistência dos resultados perante o número de observações presentes na base de dados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em linhas gerais, o investimento em educação, quando aplicado corretamente, torna-se fundamental para o desenvolvimento dos países, tanto em questões econômicas quanto em termos sociais e culturais. Nessa perspectiva, o investimento em educação pode ser a solução para vários problemas presentes na sociedade, logicamente que não é somente destinar uma fração de recursos que isso ocasionará o aumento da qualidade educacional. Torna-se essencial que exista uma alocação de recursos da forma mais eficiente possível.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar se o gasto por aluno no ensino fundamental, em termos de valores liquidados, exerce influência na qualidade da educação dos municípios brasileiros

entre o período de 2013 e 2019. Utilizando diversas fontes de dados para a construção das variáveis, foram estimados um modelo de painel com efeitos fixos. De fato, todas as especificações do painel realçaram coeficientes positivos e significantes, indicando que aumentos nos gastos elava o desempenho educacional. Esses resultados demonstraram, todavia, uma pequena correlação.

Essa baixa relação indica que, mesmo com a evolução dos gastos destinados ao ensino fundamental nos últimos anos, o montante de recursos por aluno parece ainda ser insuficiente para garantir maiores retornos no que condiz a qualidade de ensino. Outras descobertas reforçam a importância dos gastos com saúde, sugerindo, de certa forma, como um complemento dos gastos com educação para melhorar o desempenho nos testes de proficiência. A educação da mãe, como já é de praxe na literatura econômica, tende a ter um papel importante em influenciar positivamente o rendimento escolar.

Portanto, a principal conclusão é que os gastos por aluno no ensino fundamental são essenciais para melhorar os resultados nas avaliações do Saeb em português e matemática no 5º e 9º ano. Contudo, é válido reconhecer que essa relação ainda é consideravelmente pequena. Nesse contexto, é importante encontrar meios mais eficientes para fazer com que mais recursos disponíveis possam maximizar a qualidade de ensino no país. Assim, a questão para a melhoria do rendimento escolar parece estar ligada à qualidade de gestão dos recursos, pois os esforços têm se concentrado na quantidade da educação, em vez de considerarem a qualidade educacional.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. J. H.; FRIO, G. S. Uma Análise dos resultados educacionais dos municípios brasileiros. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 61, p. 285-316, 2022.

CARNEIRO, P.; HECKMAN, J. Human capital policy. **IZA Discussion Paper**, Chicago, n. 821, 2003.

COLEMAN, J. S. et al. Equality of educational opportunity Washington. **DC: US Government Printing Office**, p. 1-32, 1966.

GREENWALD, R.; HEDGES, L. V.; LAINE, R. D. The effect of school resources on student achievement. **Review of educational research**, v. 66, n. 3, p. 361-396, 1996.

HANUSHEK, E. A. The impact of differential expenditures on school performance.

Educational researcher, v. 18, n. 4, p. 45-62, 1989.

_____. Alternative school policies and the benefits of general cognitive skills. **Economics of Education Review**, v. 25, n. 4, p. 447-462, 2006.

HANUSHEK, E. A.; KIMKO, D. D. Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. **American economic review**, v. 90, n. 5, p. 1184-1208, 2000.

HANUSHEK, E. A.; LUQUE, J. A. Efficiency and equity in schools around the world. **Economics of education Review**, v. 22, n. 5, p. 481-502, 2003.

HANUSHEK, E. A.; WOESSMANN, L. The role of education quality for economic growth. **World Bank policy research working paper**, n. 4122, 2007.

_____. Education and economic growth. **Economics of Education**, v. 60, p. 67, 2010.

KROTH, D. C.; GONÇALVES, F. de O. O impacto dos gastos públicos municipais sobre a qualidade da educação: Uma análise de variáveis instrumentais entre 2007 e 2011. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 53, 2019.

LEE, J. W.; BARRO, R. J. Schooling quality in a cross-section of countries.

Economica, v. 68, n. 272, p. 465-488, 2001.

MENEZES-FILHO, N. A.; AMARAL, L. F. L. E. do. A relação entre gastos educacionais e desempenho escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 36., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: ANPEC, v. 9, 2009.

MENEZES-FILHO, N.; PAZELLO, E. Do teachers' wages matter for proficiency? Evidence from a funding reform in Brazil. **Economics of Education Review**, v. 26, n. 6, p. 660-672, 2007.

MENEZES-FILHO, N.; OLIVEIRA, A. P. de. A relação entre gastos em educação e desempenho escolar nos municípios brasileiros: uma análise com dados em painel. **Políticas públicas educacionais e desempenho escolar dos alunos da rede pública de ensino**. São Paulo: Funpec, 2014.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). Divulgados resultados do Brasil no Pisa 2022. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/divulgados-os-resultados-do-pisa-2022>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MONTEIRO, J. Gasto público em educação e desempenho escolar. **Revista Brasileira de Economia**, v. 69, p. 467-488, 2015.

PANASSOL, P. E. **Gastos educacionais e desempenho escolar em municípios do Rio Grande do Sul**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade do Rio Grande do Sul.

TODD, P. E.; WOLPIN, K. I. On the specification and estimation of the production function for cognitive achievement. **The Economic Journal**, v. 113, n. 485, p. F3-F33, 2003.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. **Anuário Brasileiro da Educação Básica**, 2021. Editora Moderna. Disponível em: <https://todospelaeducacao.org.br/analise-da-educacao> . Acesso em: 16 dez. 2023.

WALTENBERG, F. D. **Análise econômica de sistemas educativos: uma resenha crítica da literatura e uma avaliação empírica da iniquidade do sistema educativo brasileiro**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WOESSMANN, L. Schooling resources, educational institutions and student performance: the international evidence. **Oxford bulletin of economics and statistics**, v. 65, n. 2, p. 117-170, 2003.

WOOLDRIDGE JEFFREY, M. Introductory econometrics: A modern approach. **South-Western Cengage Learning**. Michigan State University, 2006.

APÊNDICE A – RESULTADOS DO MODELO DESBALANCEADO

Tabela A.1 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 5º ano do ensino fundamental

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno	-0,021*** (0,001)	0,017*** (0,001)	0,027*** (0,001)	-0,025*** (0,002)	0,012*** (0,001)	0,022*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,119*** (0,002)	0,077*** (0,001)	0,065*** (0,001)	0,112*** (0,002)	0,062*** (0,001)	0,049*** (0,001)
Razão professor/aluno	0,094*** (0,003)	0,058*** (0,003)	0,023*** (0,004)	0,093*** (0,003)	0,052*** (0,003)	0,016*** (0,004)
Educação da mãe	0,026*** (0,001)	0,027*** (0,001)	0,031*** (0,001)	0,022*** (0,001)	0,021*** (0,001)	0,025*** (0,001)
Constante	4,898*** (0,015)	4,751*** (0,012)	-	5,052*** (0,015)	4,956*** (0,012)	-
Observações	20.548	20.548	20.548	20.548	20.548	20.548
R ²	0,304	0,398	0,405	0,266	0,287	0,296

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Tabela A.2 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 9º ano do ensino fundamental

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno	-0,005*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,017*** (0,001)	-0,011*** (0,001)	0,007*** (0,001)	0,014*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,065*** (0,001)	0,050*** (0,001)	0,042*** (0,001)	0,065*** (0,001)	0,040*** (0,001)	0,030*** (0,001)
Razão professor/aluno	0,040*** (0,002)	0,026*** (0,002)	0,004 (0,003)	0,050*** (0,002)	0,030*** (0,002)	0,002 (0,003)
Educação da mãe	0,013*** (0,0004)	0,012*** (0,001)	0,014*** (0,001)	0,009*** (0,0004)	0,008*** (0,001)	0,012*** (0,001)
Constante	5,204*** (0,010)	5,137*** (0,009)	-	5,307*** (0,011)	5,268 (0,009)	-
Observações	20.073	20.073	20.073	20.073	20.073	20.073
R ²	0,234	0,289	0,294	0,211	0,198	0,207

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Tabela A.3 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 5º ano do ensino fundamental com gastos em educação defasados

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno _(t-1)	-0,018*** (0,002)	0,007*** (0,001)	0,016*** (0,001)	-0,017*** (0,002)	0,005*** (0,001)	0,013*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,109*** (0,002)	0,054*** (0,002)	0,035*** (0,002)	0,107*** (0,002)	0,055*** (0,001)	0,038*** (0,002)
Razão professor/aluno	0,082*** (0,003)	0,046*** (0,003)	0,003 (0,004)	0,077*** (0,003)	0,040*** (0,003)	0,006 (0,004)
Educação da mãe	0,024*** (0,001)	0,017*** (0,001)	0,017*** (0,001)	0,020*** (0,001)	0,012*** (0,001)	0,009*** (0,001)
Constante	4,914*** (0,018)	4,986*** (0,014)	-	4,974*** (0,018)	5,056*** (0,013)	-
Observações	15.210	15.210	15.210	15.210	15.210	15.210
R ²	0,244	0,127	0,140	0,232	0,131	0,140

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

Tabela A.4 – Resultados do modelo para a proficiência em língua portuguesa e matemática no 9º ano do ensino fundamental com gastos em educação defasados

Variáveis	Língua portuguesa			Matemática		
	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos	POLS	Efeitos aleatórios	Efeitos fixos
Gastos com EF por aluno _(t-1)	-0,002* (0,001)	0,007*** (0,001)	0,013*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	0,003*** (0,001)	0,007*** (0,001)
Gastos com saúde per capita	0,062*** (0,001)	0,042*** (0,001)	0,027*** (0,001)	0,066*** (0,001)	0,042*** (0,001)	0,027*** (0,001)
Razão professor/aluno	0,036*** (0,002)	0,028*** (0,003)	-0,003 (0,004)	0,045*** (0,002)	0,035*** (0,003)	0,004 (0,004)
Educação da mãe	0,013*** (0,001)	0,013*** (0,001)	0,018*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,010*** (0,001)	0,016*** (0,001)
Constante	5,190*** (0,012)	5,221*** (0,011)	-	5,231*** (0,013)	5,299*** (0,011)	-
Observações	14.820	14.820	14.820	14.820	14.820	14.820
R ²	0,194	0,137	0,151	0,198	0,112	0,126

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Nota: (1) Erros padrões robustos de White. (2) *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01.

CARACTERIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR DO ESTADO DE MINAS GERAIS POR MEIO DE SEUS FATORES DETERMINANTES¹

Characterization of family farming in Minas Gerais (Brazil) through its determining factors

Diogo Vieira Cabral

Gestor de Cooperativas. Mestrando em Administração Pública pela Universidade Federal de Viçosa. Av. Peter Henry Rolfs s/nº – Campus Universitário, Departamento de Administração e Contabilidade. 36570-900, Viçosa, MG, diogo.v.cabral@ufv.br

Luana Ferreira dos Santos

Gestora do Agronegócio e Administradora. Doutora em Administração. Professora adjunta do Departamento de Administração e Contabilidade. Av. Peter Henry Rolfs s/nº – Campus Universitário, Departamento de Administração e Contabilidade. 36570-900, Viçosa, MG, luana.f.santos@ufv.br

Cinara Tatiana Simonino

Economista. Mestre em Administração Pública pela Universidade Federal de Viçosa. Doutoranda em Administração pela Universidade Federal da Bahia. Av. Reitor Miguel Calmon, s/nº - 3º andar, Vale do Canela. 40110-903, Salvador, BA, cinara.simonino@gmail.com

Resumo: Este estudo pretende caracterizar a agricultura familiar no estado de Minas Gerais a partir de fatores determinantes. Classificada como quantitativa, foi utilizada a técnica estatística de análise fatorial, por intermédio do *software STATA*. Das 26 variáveis extraídas do Censo Agropecuário de 2017, os resultados evidenciaram quatro fatores determinantes, que juntos explicam 91,78% da variância total explicada. Esses fatores foram denominados: Características Gerais dos Estabelecimentos Familiares, Mecanização e Desempenho Financeiro, Tecnologia e Tamanho da Produção Agrícola, e Produção Agrícola com Práticas de Cultivo. Esses resultados destacam a importância do investimento em tecnologia e infraestrutura para a potencialização da atividade produtiva dos agricultores familiares, visto a relação existente entre a adoção de recursos tecnológicos (veículos, máquinas agrícolas e práticas de cultivo) na maximização da produção e melhor desempenho econômico das propriedades. A pesquisa visa estimular estudos de casos múltiplos em outras regiões, estados e municípios brasileiros que se diferenciam quanto ao perfil da agricultura familiar, trazendo práticas de gestão e de implementação de políticas públicas. Sugere-se também a aplicação de outras técnicas de análise multivariada de dados com dados da agricultura familiar no Censo Agropecuário de 2017 à luz de lentes teóricas como abordagens do desenvolvimento (rural, territorial, econômico etc.).

Palavras-chave: Censo Agropecuário de 2017, Produção Familiar, Análise Fatorial, Desempenho Socioeconômico.

Abstract: This study aims to characterize family farming in the state of Minas Gerais, Brazil, based on its determining factors. Employing a quantitative approach, the study utilizes factor analysis through the STATA software. From 26 variables extracted from the 2017 Agricultural Census, the results reveal four key factors that explain 91.78% of the total variance. These factors are labeled: (1) General Characteristics of Family Establishments, (2) Mechanization and Financial Performance, (3) Technology and Size of Agricultural Production, and (4) Agricultural Production with Cultivation Practices. The findings emphasize the importance of investing in technology and infrastructure to enhance the productive activity of family farmers. This is evident in the relationship between the adoption of technological resources (vehicles, agricultural machinery, and cultivation practices) and the maximization of production and improved economic performance of the properties. The research intends to stimulate multiple case studies in other Brazilian regions, states, and municipalities that differ in terms of their family farming profiles, focusing on management practices and public policy implementation. It also suggests the application of other multivariate data analysis techniques to data on family farming from the 2017 Agricultural Census, considering theoretical lenses such as development approaches (rural, territorial, economic etc.).

Keywords: Agricultural Census 2017, Family Farming, Factor Analysis, Socioeconomic Performance.

¹ Este trabalho foi financiado pela Fundação Arthur Bernardes.

1 INTRODUÇÃO

A partir da criação do Programa Nacional do Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), em 1996, o termo “agricultura familiar” passou a ter legitimidade do Estado, sendo reconhecido como uma categoria social e política com certas características. No entanto, foi com a promulgação da Lei 11.326, de 24 de julho de 2006, que a legislação que define a agricultura familiar no Brasil foi estabelecida, sendo conhecida como “Lei da Agricultura Familiar” (Abreu et al., 2021).

De acordo com a referida Lei, para ser considerado agricultor familiar e empreendedor familiar rural, o indivíduo, além de exercer atividades no meio rural, deve atender, simultaneamente requisitos do estabelecimento ou do empreendimento relacionados à área (menor do que quatro módulos fiscais); à predominância da mão de obra da própria família nas atividades; ao percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas da propriedade, além da direção do estabelecimento ou do empreendimento ser realizada com a família (Brasil, Lei nº 11.326/2006).

Posteriormente, a “Lei da Agricultura Familiar” foi regulamentada pelo Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017, trazendo algumas alterações nos critérios para o reconhecimento da Unidade Familiar de Produção Agrária (UFPA) e empreendimento familiar rural, mantendo o requisito de área, mas modificando critérios como a utilização de no mínimo, metade da força de trabalho familiar no processo produtivo e de geração de renda; e de, no mínimo, metade da renda familiar de atividades econômicas do estabelecimento ou empreendimento; e determinando que a gestão do estabelecimento ou do empreendimento deve ser estritamente familiar (Brasil, Decreto nº 9.064/2017).

Nesta pesquisa, torna-se relevante a definição de agricultura familiar constada no Decreto nº 9.064/2017, na medida que o Censo Agropecuário de 2017 está vinculado a definição legal estabelecida neste Decreto. Em outubro de 2019, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou os resultados do Censo Agropecuário de 2017, apresentando informações a respeito dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Nesse contexto, destaca-se o caso de Minas Gerais, que é o segundo estado brasileiro com maior número de estabelecimentos familiares², cerca de 441,8 mil estabelecimentos (72,7% do total), ficando atrás apenas da Bahia (IBGE, 2019).

Nesse sentido, torna-se relevante pesquisar e analisar as características da agricultura familiar em Minas Gerais via Censo Agropecuário de 2017, visto a relevância do segmento para o país e, possivelmente, para o respectivo estado. Além disso, analisar as informações geradas pelo Censo Agropecuário é importante, pois estas possibilitam o planejamento e a avaliação de políticas públicas; a compreensão da dinamização produtiva; enriquecem a produção de indicadores ambientais; permitem análises das transformações decorrentes do processo de reestruturação e de ajustes na economia e de como isso impacta no setor agropecuário (Agência IBGE, 2020).

Desse modo, pretende-se caracterizar o panorama da agricultura familiar mineira a partir do exercício de resposta ao seguinte questionamento: quais fatores são determinantes para a caracterização da agricultura familiar no estado de Minas Gerais? Sendo assim, o objetivo geral dessa pesquisa consiste em caracterizar a agricultura familiar no estado de Minas Gerais a partir de fatores determinantes, considerando dados do Censo Agropecuário de 2017.-

2 PANORAMA DA AGRICULTURA FAMILIAR BRASILEIRA

Neste tópico, a fim de estudar a relevância e caracterização da agricultura familiar em território nacional, foram analisados artigos que investigaram a atuação desse segmento produtivo em regiões, estados e municípios brasileiros, por meio da sistematização de dados do Censo Agropecuário de 2017, com exceção do estado de Minas Gerais, na qual foram examinados artigos que contemplaram os Censos Agropecuários de 2006 e 2017.

² Os estabelecimentos familiares são unidades produtivas que atendem aos critérios estabelecidos pela Lei nº 11.326/2006 e, posteriormente, alterados pelo Decreto nº 9.064/2017 e pelo Decreto nº 10.688/2021.

No centro oeste brasileiro, Abreu et al. (2021) constataram que a agricultura familiar representa o maior percentual de estabelecimentos familiares no estado do Mato Grosso; porém, com menor ocupação de território, em comparação aos estabelecimentos patronais³. Em relação ao perfil dos agricultores familiares, observou-se maior presença masculina na chefia dos estabelecimentos e que os estabelecimentos familiares se destacaram na pecuária, lavouras temporárias e lavouras permanentes. Além disso, verificou-se também uma baixa adoção de práticas agrícolas, causadas pelo acesso limitado de crédito rural e orientação técnica (Abreu et al., 2021).

No contexto da Amazônia, Ferreira et al. (2020) analisaram a agricultura familiar presente no estado do Amazonas com foco na participação por gênero e por faixa etária dos agricultores familiares, destacando o papel fundamental da agricultura familiar amazonense em prover alimentos para a sociedade; e, em relação ao grupo de idade, foi observada maior participação de agricultores adultos, mas com expressiva participação de agricultores jovens. No Pará, a produção agropecuária paraense é pautada, principalmente, na agricultura familiar, sendo que, tal atividade econômica se mostra competitiva frente a produção agropecuária não-familiar (agronegócio), apesar de suas particularidades. Em relação ao uso da terra e número de estabelecimentos, estabelecimentos familiares se sobressaem em quantidade, porém abrangem menor parcela da área agrícola total (Correa et al., 2023).

Estudos realizados na região nordeste destacam que, no Maranhão, há uma expansão da pecuária leiteira e diminuição na produção das lavouras temporárias. Em relação às carências, observou-se o baixo nível de escolaridade dos agricultores familiares maranhenses e acesso limitado a serviços de assistência técnica. Além disso, constatou-se que os estabelecimentos familiares representam maior percentual dos estabelecimentos agropecuários no estado; porém, ocupando uma área bem reduzida (Santos et al., 2020). Na Paraíba, o meio rural também é marcado principalmente pela concentração fundiária, visto que as unidades familiares possuem participação bem menor na área total, em comparação as unidades patronais. Todavia, a agricultura familiar contribui expressivamente para geração de emprego e receitas às famílias paraibanas (Targino; Moreira, 2020).

Ademais, Targino e Moreira (2020) apontam para uma maior integração da agricultura familiar ao mercado, especialmente em relação às seguintes mudanças: crescimento da fruticultura e agroindústria rural, implementação de tecnologias sociais etc. Apesar dos avanços mencionados, Targino e Moreira (2020) também revelam alguns problemas atrelados ao espaço agrário paraibano, como o envelhecimento da população rural, agricultores com baixa escolaridade, entre outros.

De forma análoga, Barbosa e Brandão (2020) verificam a importância da agricultura familiar alagoana para a economia do estado, apesar desse segmento produtivo carecer de incentivos governamentais que possibilitem o acesso a novos mercados aos agricultores familiares. Constatou-se também que a agricultura familiar alagoana é responsável por grande parte da produção de alimentos destinados ao consumo local, receitas totais dos estabelecimentos agropecuários e pela maior parcela da mão de obra empregada em atividades agropecuárias. Todavia, foram poucos os estabelecimentos familiares alagoanos que obtiveram financiamentos, dificultando a ampliação e melhoria de sistemas produtivos e comprometendo o desenvolvimento rural do estado (Barbosa; Brandão, 2020).

Morais et al. (2020) apresentaram um diagnóstico da agricultura familiar no estado do Piauí, observando, quanto às características dos produtores, a predominância de produtores homens, de 45 a menos de 65 anos, com baixa escolaridade e de cor parda. Por conseguinte, Silva et al. (2020) analisaram a situação socioeconômica da agricultura familiar no estado da Bahia, permitindo inferir que há uma evidente desigualdade na agricultura familiar baiana e nordestina em múltiplos aspectos em relação aos valores médios nacionais.

Em termos de agricultura familiar, o estado da Bahia detém mais de meio milhão de estabelecimentos familiares, fundamentais para abastecimento do mercado interno (principalmente, na produção de lavouras e criação de animais), para o autoconsumo das famílias e geração de ocupações no estado. Contudo, apenas um número reduzido de estabelecimentos familiares teve acesso à orientação técnica, apresentando percentual bem abaixo da escala nacional (Silva et al., 2020).

³ Os estabelecimentos patronais ou estabelecimentos não familiares incluem as unidades produtivas que não atendem aos critérios estabelecidos pela Lei nº 11.326/2006 e, posteriormente, alterados pelo Decreto nº 9.064/2017 e pelo Decreto nº 10.688/2021.

Do mesmo modo, Aquino et al. (2020) destacam a expressiva importância da agricultura familiar potiguar para a produção de alimentos básicos e para a geração de ocupações no meio rural. Apesar disso, constatou-se a fragilidade desse segmento no estado, visto que os agricultores familiares sofrem múltiplas carências, tais como: escassez de ativos produtivos, dependência de rendas externas, entre outros. Observou-se que a maioria dos estabelecimentos familiares do RN são chefiados por homens adultos, evidenciando um contexto rural marcado por problemas como envelhecimento da população rural e falta de incentivos à sucessão familiar.

Quanto às características socioeconômicas da agricultura familiar sergipana, há evidências de que as unidades familiares têm baixo acesso à assistência técnica e crédito rural. Contudo, apesar das carências, o segmento familiar sobressai na produção de algumas lavouras temporárias e pecuária leiteira, fundamentais para o autoconsumo e geração de renda das famílias. Em relação ao perfil dos agricultores familiares, observou-se a maior participação de homens, com idade superior a 55 anos, da cor parda, com baixa escolaridade e com baixo nível de organização em associações e cooperativas (Costa; Carvalho, 2020).

Em adição, Sampaio e Vital (2020) analisaram a agricultura familiar pernambucana e notaram um maior percentual de estabelecimentos agropecuários familiares e pessoal ocupado no estado de Pernambuco, em comparação ao Nordeste e ao Brasil. Ademais, em território pernambucano, a agricultura familiar tem expressiva participação na produção de lavouras temporárias e na pecuária, destinadas à comercialização e autoconsumo das famílias. Deve-se destacar também que a atividade abrange uma parcela maior do pessoal ocupado, predominando o trabalho exercido pelo proprietário e seus familiares. Pernambuco possui menor percentual de estabelecimentos familiares com acesso a recursos financeiros em relação ao Nordeste e ao Brasil (Sampaio; Vital, 2020).

Quanto às pesquisas que analisaram a agricultura familiar com enfoque regional, Aquino, Alves e Vidal (2020) averiguaram a importância da agricultura familiar nordestina e suas principais características, destacando uma expressiva participação desse segmento social na região, visto que a agricultura familiar abrange maior proporção dos estabelecimentos agropecuários e trabalhadores no espaço agrário nordestino. Apesar da expressiva quantidade de estabelecimentos, o segmento detém menor abrangência de área ocupada, sendo um dos principais aspectos da desigualdade territorial da região e concentração fundiária presente em território nacional. Observou-se que os agricultores familiares nordestinos enfrentam diversos problemas produtivos que vão desde aspectos climáticos negativos, carências de ativos, falta de serviços de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater), baixa escolaridade por parte dos produtores, entre outros (Aquino et al., 2020).

Analisando o semiárido brasileiro, Silva et al. (2020) examinaram as atividades produtivas desenvolvidas pelos agricultores familiares, salientando que a maior parte da produção dos estabelecimentos familiares é destinada para o autoconsumo das famílias e, secundariamente, para a comercialização. Quanto à geração de ocupações, verificou-se que o percentual de pessoal ocupado nos estabelecimentos familiares do Semiárido é superior ao percentual nacional. Silva et al. (2020) destacam também que a sucessão familiar é um problema recorrente nos estabelecimentos familiares do Semiárido, visto o baixo número de agricultores familiares jovens. Esse cenário é provocado por uma série de implicações, tais como: falta de oportunidades de trabalho, área reduzida das propriedades, escassez de políticas públicas, entre outros.

Trazendo a discussão para a região Sul brasileira, Marques e Cruz (2022) analisaram os estabelecimentos familiares com agroindústria no Rio Grande do Sul e suas características quanto à regularização sanitária dos produtos, uma vez que a agricultura familiar abrange maior parte dos estabelecimentos agropecuários com produtos da agroindústria, sendo tal estado a unidade da federação com maior proporção desses estabelecimentos familiares fabricantes de produtos da agroindústria. Ademais, foram reveladas algumas limitações enfrentadas pelos estabelecimentos familiares com produtos da agroindústria em função da formalização de sua produção, na medida que havia baixo percentual de orientação técnica e acesso aos ensinos médio e superior (Marques; Cruz, 2022).

Silva, Gazolla e Oliveira (2022) examinaram os indicadores da agricultura familiar na Região Sul, comparando sua proporção e perfil entre os estados da região e entre os grupos de agricultores familiares (Grupo B, Grupo V e Não Pronafianos)⁴. Em relação à etnia, no território sulista predomina a presença de agricultores familiares brancos o que difere do cenário nacional, onde a etnia parda é predominante. Verificou-se certa similaridade nos resultados dos três estados da Região Sul em relação à agricultura familiar, mas observou-se uma notável diferença entre os três grupos familiares, uma vez que o grupo mais pobre (Grupo B) apresentou várias vulnerabilidades produtivas e socioeconômicas, enquanto o Grupo V e Não Pronafianos detiveram indicadores mais desenvolvidos, como maiores valores, financiamentos e acesso a políticas públicas (Silva et al, 2022).

Em complemento, a agricultura familiar do estado de Minas Gerais também foi analisada por Fortini (2021). A autora apontou a predominância de unidades familiares no estado, porém tendo uma abrangência territorial bem reduzida. Em relação ao perfil dos chefes dos estabelecimentos familiares, verificou-se a predominância de homens adultos, proprietários, com algum tipo de escolaridade e de cor branca. Em detrimento aos aspectos produtivos, notou-se a participação significativa da pecuária, lavouras temporárias e lavouras permanentes no valor total da produção dos estabelecimentos familiares. Ademais, a agricultura familiar mineira também se destacou na geração de ocupações, visto que os estabelecimentos familiares abarcaram 1.083.824 pessoas ocupadas, sendo a maioria membros da família do produtor(a). Entretanto, vale destacar os aspectos negativos encontrados para esse contexto, como o baixo acesso a orientação técnica e financiamentos (Fortini, 2021).

Peres Júnior et al. (2013), a partir de uma investigação de padrões caracterizadores da agricultura familiar em Minas Gerais, por meio de dados do Censo Agropecuário de 2006, explicitou as diferenciações dos municípios mineiros em relação aos seus estabelecimentos familiares. Nesse sentido, os autores observaram a existência de uma pluralidade da agricultura familiar mineira, bem como a importância de se analisar o setor através da perspectiva de cada município de forma isolada.

Em síntese, a partir da análise das publicações mencionadas nessa revisão de literatura, observa-se a importância da agricultura familiar para a economia nacional, por meio da produção de alimentos (para autoconsumo e comercialização), geração de ocupações e contribuição para a renda das famílias brasileiras. Por conseguinte, entre as principais semelhanças dos territórios estudados, destaca-se a concentração fundiária existente no Brasil. Ou seja, embora os estabelecimentos familiares sejam numerosos em quantidade, a maior parte das terras agrícolas está sob o controle dos estabelecimentos patronais ou do agronegócio.

No entanto, também é possível observar que a agricultura familiar desempenha um papel fundamental na geração de ocupações e renda no meio rural, apesar de enfrentar diversas dificuldades, tais como dependência de rendas externas, envelhecimento da população rural, baixa adoção de novas tecnologias, entre outros aspectos relatados pelos estudos. Além disso, destaca-se principalmente a falta de acesso a crédito rural e à assistência técnica por parte dos produtores. Essas limitações impactam negativamente na produtividade e na rentabilidade dos estabelecimentos familiares.

Em relação ao perfil dos agricultores familiares, predominam-se produtores homens adultos, de cor parda (com exceção da Região Sul e Minas Gerais) e com baixa escolaridade. Observa-se, portanto, uma falta de incentivos para que os jovens permaneçam no campo, o que contribui para o visível envelhecimento da população rural e para os problemas relacionados à sucessão familiar nas propriedades rurais. A seguir, a metodologia aborda as etapas percorridas para o alcance dos resultados.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza por uma abordagem quantitativa. O método quantitativo se baseia na coleta de dados numéricos para conduzir análises estatísticas, a fim de estabelecer relações entre as variáveis e identificar padrões (Creswell, 2010). Quanto ao tipo de pesquisa a ser utilizado, optou-se por

⁴ De acordo com Censo Agropecuário de 2017, os agricultores familiares são divididos em três grupos: Grupo B, Grupo V e Não Pronafianos. O critério de diferenciação se baseia na renda bruta anual obtida pelos seus respectivos estabelecimentos. Desse modo, o Grupo B compreende os estabelecimentos com renda bruta anual de até R\$ 20 mil; Grupo V com renda bruta anual de R\$ 20 mil até R\$ 360 mil; Não Pronafianos com renda bruta anual superior a R\$ 360 mil (Aquino et al., 2020).

uma mesclagem entre pesquisa descritiva e exploratória. Uma pesquisa descritiva envolve a prática de descrição e medição do fenômeno estudado, e, uma pesquisa exploratória tem como objetivo explorar um fenômeno com variáveis e base teórica desconhecida, auxiliando na geração de ideias e hipóteses para pesquisas futuras (Creswell, 2010).

Essa mesclagem ocorre porque o viés exploratório que a pesquisa assume está relacionado a captar, a partir das variáveis selecionadas, quais fatores foram gerados pela análise fatorial, uma vez que as dimensões não foram definidas anteriormente para serem validadas, mas, sim, pretendeu-se conhecer essas dimensões em formato de fatores. Já a pesquisa descritiva se aplica à descrição dos fatores determinantes e suas respectivas relações com a literatura da área de agricultura familiar.

A análise multivariada de dados pode ser definida como um conjunto de técnicas estatísticas que analisam simultaneamente múltiplas variáveis sobre indivíduos ou objetos de investigação, com o objetivo de medir, explicar e prever o grau de relação entre variáveis estatísticas (Hair et al., 2009). A análise fatorial, técnica de análise multivariada aqui empregada, por sua vez, tem o potencial para desempenhar um papel único na aplicação de outras técnicas multivariadas, ao proporcionar ferramentas para analisar a estrutura das correlações de muitas variáveis, definindo conjuntos de variáveis fortemente inter-relacionados, chamados de fatores (Fávero; Belfiore, 2017; Hair et al., 2009).

Os fatores também podem ser entendidos como agrupamentos de variáveis a partir de critérios estabelecidos. Assim, esse novo conjunto de variáveis formado pela análise fatorial incorpora a natureza das variáveis originais em menos novas variáveis, usando variáveis representativas, conhecidas como escores fatoriais. Os escores fatoriais são medidas criadas para cada observação de cada fator extraído da análise fatorial; além disso, são padronizados para que tenham média igual a zero e desvio padrão igual a um (Fávero; Belfiore, 2017; Hair et al., 2009).

A partir dos resultados da análise fatorial é possível compreender quais variáveis são altamente correlacionadas quando estas são membros do mesmo fator (Hair et al., 2009). Por essas razões destacadas, a análise fatorial foi a técnica escolhida, diante do objetivo da pesquisa, haja vista que buscou-se sumarizar variáveis do Censo Agropecuário de 2017 relacionadas à agricultura familiar em constructos que expressam o panorama desta categoria.

Em acréscimo, existem parâmetros da análise fatorial que relacionam os fatores às variáveis, as chamadas cargas fatoriais, que são valores que mensuram o grau de correlação entre as variáveis originais e os fatores gerados em análise fatorial. No entanto, às vezes, mais de um fator pode vir a corresponder a mesma variável, dificultando a interpretação dos resultados (Fávero; Belfiore, 2017). Com isso, implementa-se a rotação de fatores para facilitar na explicação dos fatores. Nesta pesquisa, foi aplicada a rotação de fatores Varimax, pois este tipo de rotação minimiza o caso de variáveis com altas cargas fatoriais para diferentes fatores; logo, por meio dessa rotação, podem-se relacionar cada variável a um único fator, buscando minimizar o número de variáveis que têm altas cargas em um fator, simplificando a interpretação dos fatores (Bezerra, 2007; Fávero; Belfiore, 2017).

A modalidade de análise fatorial utilizada nesta pesquisa é a Análise Fatorial Exploratória (AFE). A AFE não exige um conhecimento prévio acerca da correlação existente entre as variáveis, caso exista. Dessa forma, por intermédio da AFE, é possível identificar e analisar a relação das variáveis estudadas a partir dos resultados (Bezerra, 2007). Na AFE, os dados observados determinam o modelo fatorial subjacente *a posteriori*, ou seja, em uma técnica exploratória não existe uma intervenção do pesquisador predeterminando uma estrutura; logo, confia-se puramente na empiria dos dados e não são estabelecidas restrições a respeito da estimação ou do número de componentes (Matos; Rodrigues, 2019). Quanto a opção de método de extração dos fatores, foi empregado o método de componentes principais, que procura uma combinação linear das variáveis de maneira a maximizar a variância total explicada (Fávero; Belfiore, 2017).

As variáveis utilizadas na pesquisa são classificadas como quantitativas, sendo variáveis contínuas - números que assumem valores fracionados - e discretas - números inteiros (Matos; Rodrigues, 2019). Exemplos de variáveis contínuas do estudo são valores em reais de receitas e de variáveis discretas são

números de estabelecimentos. Os dados utilizados na pesquisa são secundários e foram coletados nas bases de dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE. A amostra contou com dados dos 853 municípios mineiros para o ano de 2017.

Quanto à seleção das variáveis, primeiramente, foi criado um banco de dados com variáveis do referido Censo que contêm características da agricultura familiar para todos os municípios mineiros. Em um segundo momento, das 232 variáveis selecionadas, 197 variáveis foram excluídas devido à falta de dados para diversas observações. Sendo assim, as 35 variáveis restantes contemplaram aspectos relacionados às características dos estabelecimentos, pessoal ocupado, tipo de lavoura (permanente e temporária), horticultura, pecuária e movimentação financeira. Dessas 35 variáveis, 26 foram selecionadas para a análise fatorial, por possuírem cargas fatoriais superiores a 0,5, já que cargas fatoriais maiores do que 0,5 são geralmente consideradas necessárias para significância prática (Hair et al., 2009). As variáveis utilizadas são apresentadas no Quadro 1.

Além disso, vale destacar que as variáveis utilizadas foram selecionadas a partir da aderência delas às dimensões pertinentes para a caracterização da agricultura familiar brasileira, mencionadas por trabalhos científicos que versam sobre a temática e trabalham com tais dimensões.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas na AFE

Variáveis	Códigos	Embasamento teórico
Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram sistema de preparo do solo (Unidades)	estagrosolo	
Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram cultivo convencional (Unidades)	agrocult	
Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram cultivo mínimo (Unidades)	agrocultmin	
Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação (Unidades)	estagroirri	
Número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos (Unidades)	estagrorechidri	(Aquino et al., 2020; Silva et al., 2020)
Número de estabelecimentos agropecuários com tratores (Unidades)	estagrottrat	
Número de tratores, implementos e máquinas existentes nos estabelecimentos agropecuários (Unidades)	tratimplmaqu	
Número de estabelecimentos agropecuários com veículos (Unidades)	estagroveic	
Número de veículos existentes nos estabelecimentos agropecuários (Unidades)	vecestagro	
Área dos estabelecimentos agropecuários (Hectares)	areaestagro	
Número de estabelecimentos agropecuários dirigidos pelo produtor (Unidades)	estagrodireprod	(Aquino et al., 2020; Silva, et al., 2020)
Número de estabelecimentos agropecuários dirigidos por casais (Unidades)	estagrodiregcasea	
Número de estabelecimentos agropecuários com produtor proprietário (Unidades)	estagroprodprop	
Número de estabelecimentos agropecuários com horticultura (Unidades)	estagrohort	(Santos et al., 2020; Silva, et al., 2020)
Número de estabelecimentos agropecuários com 50 pés e mais existentes da lavoura permanente (Unidades)	estagrolavoper	(Santos et al., 2020)
Número de estabelecimentos agropecuários com menos de 50 pés existentes da lavoura permanente (Unidades)	estagrolavperm	
Número de estabelecimentos agropecuários com lavoura temporária (Unidades)	estagrolavotem	
Valor da produção das lavouras temporárias (Mil Reais)	valprodlavotem	
Valor da venda das lavouras temporárias (Mil Reais)	valvenlavotem	
Número de estabelecimentos agropecuários com produção (Unidades)	estagroprod	(Aquino et al., 2020; Silva, et al., 2020)
Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (Mil Reais)	prodestagro	
Valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários (Mil Reais)	desprealestagro	
Número de estabelecimentos agropecuários que obtiveram receitas ou com outras rendas do produtor (Unidades)	estagrorec	
Valor das receitas ou rendas obtidas pelos estabelecimentos agropecuários (Mil Reais)	valrecestagro	
Número de estabelecimentos agropecuários com efetivo da pecuária (Unidades)	estagropec	(Silva, et al., 2020)
Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários (Pessoas)	pocupestagro	(Aquino et al., 2020; Santos et al., 2020; Silva, et al., 2020)

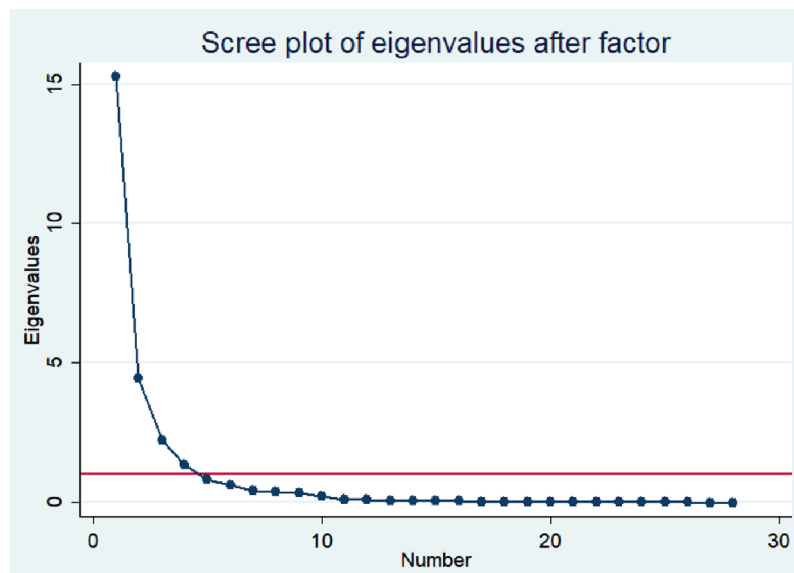
Fonte: Elaboração própria, com base em dados do IBGE (2019).

Buscando verificar a adequação quanto a utilização da análise fatorial, foram implementados o teste *Kaiser Meyer Olkin* (KMO) e o teste de esfericidade de Bartlett. O teste KMO é uma técnica estatística que avalia a viabilidade da análise fatorial na base de dados utilizada. Nesse sentido, para que seja viável a realização da análise fatorial, o valor obtido no teste KMO deve ser superior a 0,5 (Fávero; Belfiore, 2017). Ademais, o teste de esfericidade de Bartlett é outro teste estatístico que averigua a presença de correlações significativas entre as variáveis de interesse. Para isso, recomenda-se que o valor do teste não ultrapasse 0,5 (Hair et al., 2009; Bezerra, 2007). Por fim, para a realização da análise fatorial, foi utilizado o *software STATA versão 14.0*. Os resultados e discussão apresentam os fatores gerados na análise e suas respectivas interpretações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, para obter um número adequado de fatores, utilizou-se o critério da raiz latente ou autovalor. O autovalor (*eigenvalue*) corresponde a quanto o fator consegue explicar da variância, ou seja, quanto da variância total dos dados pode ser associada a cada fator (Bezerra, 2007). Conforme o Gráfico 1, apenas quatro fatores possuem raiz latente ou autovalores superiores a 1 (um); logo, quatro fatores foram considerados na análise devido à relevância destes quanto à variância explicada.

Gráfico 1 – Gráfico de autovalor para retenção de fatores



Fonte: Elaborado pelo STATA a partir das variáveis da pesquisa.

Após a aplicação da análise fatorial, as 26 variáveis foram agrupadas em quatro fatores determinantes do fortalecimento da agricultura familiar, que juntos compreendem cerca de 91,78% da variância total explicada das variáveis originais, conforme apresentado na Tabela 1. Foram realizados o teste KMO e o teste de esfericidade de Bartlett para averiguar a adequabilidade da aplicação da análise fatorial nas variáveis selecionadas. O teste KMO apresentou um valor considerado ótimo (Matos; Rodrigues, 2019) de 0,8946, e, dessa forma, demonstra uma forte correlação existente entre as variáveis analisadas e a possibilidade de gerar valores significativos. Em complemento, o teste de esfericidade de Bartlett também validou a utilização da análise fatorial, visto que a significância obtida é inferior a 0,5.

Tabela 1 – Fatores e Variâncias

Fatores	Variância	Variância Explicada	Variância Acumulada
Fator 1	10,57617	0,4491	0,4491
Fator 2	5,42914	0,2305	0,6796
Fator 3	3,74149	0,1589	0,8384
Fator 4	1,87026	0,0794	0,9178

Fonte: Elaboração própria. Resultados da pesquisa, 2023.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise fatorial, considerando apenas as cargas fatoriais superiores a 0,5. Com o emprego da rotação Varimax, as cargas fatoriais foram rotacionadas para simplificar a interpretação dos fatores, associando cada variável a um único fator. Com base nos valores das cargas fatoriais, foi possível nomear cada fator e analisar seus possíveis desdobramentos. Os quatro fatores foram denominados como: i) Características Gerais dos Estabelecimentos Familiares, ii) Mecanização e Desempenho Financeiro, iii) Tecnologia e Tamanho da Produção Agrícola, e iv) Produção Agrícola com Práticas de Cultivo.

Tabela 2 – Fatores determinantes encontrados

Variáveis/Fatores	Características Gerais dos Estabelecimentos Familiares	Mecanização e Desempenho Financeiro	Tecnologia e Tamanho de Produção Agrícola	Produção Agrícola com Práticas de Cultivo
estagrodireprod	0,8794			
estagrodirecasa	0,7827			
estagrodireprop	0,8837			
estagrosolo	0,8715			
agrocultmin	0,8445			
estagrosolchidri	0,8767			
areaestagro	0,7701			
estagrolavperm	0,6278			
estagrolavotem	0,9106			
estagrodireprod	0,8874			
estagrosolrec	0,8846			
estagrosolpec	0,9474			
pocupestagro	0,8613			
estagrosoltrat		0,6706		
tratimplmaqu		0,7330		
valprodlavotem		0,8694		
valvenlavotem		0,8392		
prodestagro		0,8200		
desprealestagro		0,8388		
valrecestagro		0,7886		
estagrosolveic			0,7330	
vecestagro			0,7890	
estagrolavoper			0,8867	
agrocult				0,5918
estagrosolirri				0,7365
estagrosolhort				0,7860
%Variância total explicada	10,57617	5,42914	3,74149	1,87026

Fonte: Elaboração própria. Resultados da pesquisa, 2023.

A relação existente entre as variáveis leva nomes aos fatores, por apresentarem características dos estabelecimentos da agricultura familiar contemplados no estudo. Essa constatação baseia-se no fato das variáveis serem altamente correlacionadas ao compartilharem o mesmo fator. Ou seja, ao partilharem o mesmo fator e possuírem cargas fatoriais positivas, verifica-se que essas variáveis variam juntas (aumentam e diminuem) na mesma direção (Hair et al., 2009).

Antes de partir para uma análise minuciosa dos fatores, realiza-se uma breve contextualização da agricultura familiar presente no espaço agrário do estado de Minas Gerais e suas especificidades para melhor compreensão da aderência dessas 4 dimensões subjacentes no contexto rural mineiro. Assim como nos demais estados e regiões brasileiras, a agricultura familiar mineira é plural, heterogênea e diversificada. Esse setor está estritamente alinhado à concepção de agricultura familiar como “guarda-chuva conceitual” da autora Altafin (2007). Ou seja, no estado de Minas Gerais essa categoria social está longe de ser um setor homogêneo e único, visto que compreende uma série de situações e atores di-

versos, em contraposição à agricultura patronal: com tamanhos de propriedades diversas; tipos variados de cultivo e de produção agrícola; acesso a recursos naturais (recursos hídricos, por exemplo); e acesso a equipamentos tecnológicos (maquinários agrícolas e veículos), etc. (Fortini, 2021).

Além disso, a agricultura familiar mineira se destaca pelo número de estabelecimentos agropecuários, pela mão de obra empregada e gestão familiar das propriedades, e pela produção de alimentos via inúmeras atividades econômicas exercidas (pecuária, lavouras temporárias, lavouras permanentes e horticultura), destinadas ao autoconsumo das famílias e/ou a comercialização à terceiros, com intuito de gerar renda, trabalho e bem-estar (Fortini, 2021). Aliás, a agricultura familiar mineira também enfrenta os problemas públicos estruturais que acometem o setor no Brasil: tamanho reduzido das propriedades, envelhecimento da população rural, baixo acesso a crédito e serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER) etc. (Fortini, 2021; Machado; Silva, 2024).

Partindo para a interpretação dos fatores. O primeiro fator extraído foi intitulado de Características Gerais dos Estabelecimentos Familiares. Esse fator englobou 13 variáveis que, conjuntamente, presumem a presença de diferentes aspectos na caracterização da agricultura familiar dos municípios mineiros ao incorporar diferentes elementos dos estabelecimentos agropecuários, como: número de estabelecimentos agropecuários dirigidos pelo produtor (estagrodireprod), número de estabelecimentos dirigidos por casais (estagrodirecasa), número de estabelecimentos agropecuários com produtor proprietário (estagrodireprop), número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram sistema de preparo do solo (estagrosolo), número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram cultivo mínimo (agrocultmin) número de estabelecimentos agropecuários com recursos hídricos (estagrosolchidri), área dos estabelecimentos agropecuários (areaestagro), número de estabelecimentos agropecuários com menos de 50 pés existentes da lavoura permanente (estagrolavperm), número de estabelecimentos agropecuários com lavoura temporária (estagrolavotem), número de estabelecimentos agropecuários com produção (estagrodireprod), número de estabelecimentos agropecuários que obtiveram receitas ou com outras rendas do produtor (estagrosolrec), número de estabelecimentos agropecuários com efetivo da pecuária (estagrosolpec) e pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários (pocupestagro).

A variável com maior carga fatorial para com o primeiro fator foi “número de estabelecimentos agropecuários com efetivo da pecuária”, sugerindo uma forte influência dessa atividade econômica para a caracterização dos estabelecimentos familiares mineiros. Examinando os dados do Censo Agropecuário de 2017, confirma-se a relevância da pecuária (galináceos, bovinos, suínos etc.) para o contexto rural do estado, visto que abrange 57,8%⁵ dos estabelecimentos familiares e compreende 72,9%⁶ da área agrícola total.

Ao analisar outras unidades da federação, encontra-se resultados semelhantes, como, por exemplo, no estado de Mato Grosso, no qual a pecuária está presente em 82,19% dos estabelecimentos familiares (Abreu et al., 2021); no Maranhão e em Sergipe, Santos et al. (2020) e Costa e Carvalho (2020), respectivamente, verificaram como a pecuária leiteira se sobressai nesses estados. No Piauí, Morais, Sousa e Araújo (2020) salientam que grande parcela dos estabelecimentos familiares desenvolve pecuária com galináceos, suínos e bovinos. Essas informações respaldam as alegações de Altafin (2007) no que tange à múltipla função da pecuária na propriedade familiar, pois a criação de animais é vista pela autora supracitada como uma estratégia da família camponesa para a diversificação de culturas, além de auxiliar na fertilização dos solos e melhoria da produção agrícola.

Outra característica interessante insinuada pelo primeiro fator é a presença de uma estrutura agrícola familiar consolidada no estado, uma vez que incorpora dados de variáveis atreladas a gestão familiar das propriedades (número de estabelecimentos agropecuários dirigidos pelo produtor, número de estabelecimentos dirigidos por casais e número de estabelecimentos agropecuários com produtor proprietário), além da geração de ocupações a um efetivo número de pessoas (pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários). Nesse sentido, verifica-se que 77,5%⁷ dos estabelecimentos familiares são adminis-

5 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

6 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Área dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

7 Valor calculado por meio da Tabela 6756 - Número de estabelecimentos agropecuários dirigidos pelo produtor (IBGE, 2019).

trados pelo produtor titular e 16,6%⁸ por casais. De acordo com Sampaio e Vital (2020), a agricultura familiar se sobressai quanto a ocupação da mão de obra no meio rural, com predomínio de proprietários e seus familiares; porém, tal perspectiva tende a diminuir, uma vez que haja a ampliação do trabalho urbano e melhoria na capacitação dos jovens.

Vale ressaltar que a sucessão familiar e a permanência do jovem no campo são um problema recorrente em diferentes contextos brasileiros (Silva et al., 2020; Santos et al., 2020). Existem desafios para a sustentação e o fortalecimento da agricultura familiar, sendo necessário ampliar as políticas públicas já existentes que buscam estimular o planejamento da sucessão familiar e a fixação dos jovens no campo. Além disso, é importante apoiar os produtores rurais mais velhos, dando a eles boas condições para que possam manter as atividades agropecuárias do estabelecimento e para que tenham qualidade de vida (Fortini, 2021).

Em relação ao pessoal ocupado, das pessoas empregadas no meio rural do estado, 59%⁹ são na agricultura familiar, na qual 84,5%¹⁰ possuem laços de parentesco com o proprietário (IBGE, 2019). Concomitantemente, Schneider (2003) argumenta que os agricultores familiares são um grupo social interligado por laços de parentesco e consanguinidade, na qual articulam e discutem estratégias individuais e coletivas dentro do contexto familiar. Esse cenário é comum no contexto rural brasileiro, visto que várias unidades da federação apresentaram proporções semelhantes na geração de ocupações pela agricultura familiar, como no Maranhão (77,64%), na Bahia (77,85%) e no Rio Grande do Norte (67,8%) (Santos et al., 2020; Silva et al., 2020; Aquino et al., 2020).

Ao analisar as demais variáveis desse fator, constata-se a relevância de outros elementos no cenário da agricultura familiar em Minas Gerais. A presença das variáveis: número de estabelecimentos agropecuários com produção e número de estabelecimentos agropecuários que obtiveram receitas ou com outras rendas do produtor indicam o exercício da comercialização e do autoconsumo pelos agricultores familiares. Conforme o Censo Agropecuário de 2017, 67,9%¹¹ dos estabelecimentos familiares mineiros tem como foco principal a destinação de parte da produção para comercialização, auxiliando na obtenção de receitas aos agricultores familiares (IBGE, 2019).

Deve ser realçado o papel desempenhado pelas políticas públicas para a agricultura familiar como mercados institucionais para a comercialização desses alimentos, mesmo que os dados não indiquem para quais canais os produtos são comercializados. Um exemplo de mercado institucional é o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que determina a obrigatoriedade mínima de 30% de utilização dos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) para a aquisição de alimentos da agricultura familiar (Brasil, Lei n.º 11.947/2009). Outros mercados importantes para a agricultura familiar são as feiras livres e as feiras agroecológicas (Simonino, 2023). Em contrapartida, 32,1%¹² dos estabelecimentos familiares destinam sua produção, prioritariamente, para o consumo próprio e de seus familiares. Tal afirmação confirma a relevância atribuída à produção para autoconsumo, ao promover a garantia da autossuficiência alimentar da família e da unidade produtiva, principalmente, aos estabelecimentos mais vulneráveis (Grisa et al., 2013).

Essa dupla finalidade da produção agrícola (comercialização e autoconsumo) é observada em boa parte do território brasileiro, demonstrando o papel fundamental da agricultura familiar na geração de renda, trabalho e alimento às famílias brasileiras, além de estimular a Segurança Alimentar e Nutricional a esses grupos familiares. No entanto, a partir dos resultados obtidos por Minas Gerais acerca dessas duas finalidades da produção, observa-se que no estado é dado maior destaque a comercialização frente a outros estados e regiões brasileiras; como, por exemplo, no Piauí, onde a comercialização assume um papel secundário quanto a finalidade de parte da produção agropecuária, principalmente, quanto a pecuária e lavouras temporárias (Morais et al., 2020).

8 Valor calculado por meio da Tabela 6757 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários dirigidos por casais (IBGE, 2019).

9 Valor calculado por meio da Tabela 6884 - Variável: Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuário (IBGE, 2019).

10 Valor calculado por meio da Tabela 6884 - Variável: Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários com laço de parentesco com o produtor (IBGE, 2019).

11 Valor calculado por meio da Tabela 6762 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

12 Valor calculado por meio da Tabela 6762 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

O segundo fator gerado pela análise fatorial foi classificado como Mecanização e Desempenho Financeiro. Esse fator incorporou sete variáveis: número de estabelecimentos com tratores (estagrotat), números de tratores, implementos e máquinas existentes nos estabelecimentos agropecuários (tratimplmaqu), valor da produção das lavouras temporárias (valprodlavotem), valor da venda das lavouras temporárias (valvenlavotem), valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (prodestagro), valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários (desprealestagro) e valor das receitas ou rendas obtidas pelos estabelecimentos agropecuários (valrecestagro). Essa relação entre o uso de maquinário e indicadores financeiros como produção, venda, receita, despesa e renda sugere a relevância da mecanização para o aumento da produtividade agrícola.

Essa associação inferida se alinha com a constatação de Oliveira e Pereira (2010), ao reconhecerem a mecanização como fator fundamental para o aumento da produtividade e lucratividade da agricultura familiar. Contudo, é importante ressaltar a distinção fundamental entre correlação e causalidade. Embora as variáveis mencionadas acima estejam altamente correlacionadas, não se pode afirmar com precisão que existe uma relação de causa e efeito entre elas. Portanto, para se provar que o uso de maquinário causa um desempenho financeiro superior, é necessário realizar estudos experimentais ou observacionais controlados (Hair et al. 2009), ou estudos que apliquem outros métodos, como regressão linear múltipla, testando relações entre variáveis dependentes (relacionadas à produtividade e/ou lucratividade) e variáveis independentes (relacionados à mecanização agrícola).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, cerca de 18%¹³ dos estabelecimentos familiares do estado possuem algum tipo de maquinário agrícola como tratores, plantadeiras, colhedoras. Desse modo, percebe-se o contraste de Minas Gerais com outras unidades da federação, como os estados nordestinos, em que a presença de máquinas agrícolas em estabelecimentos familiares é praticamente inexistente (Aquino et al., 2020).

Em sequência, a variável valor da produção das lavouras temporárias apresentou a maior carga fatorial, demonstrando o papel significativo das lavouras temporárias para a produção agrícola mineira, visto seu relacionamento com a mecanização e desempenho financeiro dos estabelecimentos. Essas lavouras representam 29,2%¹⁴ do valor da produção vegetal arrecadado pelos estabelecimentos familiares, ficando atrás apenas das lavouras permanentes (53,6%¹⁵). Ademais, constata-se que 16,4%¹⁶ das unidades familiares dedicam-se a essa atividade econômica, ocupando cerca de 13,2%¹⁷ da área agrícola total. Percebe-se a semelhança com o estado de Mato Grosso, onde 11,34% dos estabelecimentos familiares cultivam lavouras temporárias (Abreu et al., 2021).

O terceiro fator identificado pela análise fatorial foi denominado de Tecnologia e Tamanho da Produção Agrícola. Esse fator agrupou três variáveis: número de estabelecimentos agropecuários com veículos (estagroveic), número de veículos existentes nos estabelecimentos agropecuários (vecestagro) e número de estabelecimentos agropecuários com 50 pés e mais existentes da lavoura permanente (estagrolavoper). Nesta perspectiva, supõe-se que estabelecimentos familiares que possuem recursos tecnológicos mais desenvolvidos, como veículos (caminhões, utilitários, automóveis etc.) tendem a apresentar maiores produções agrícolas, considerando a relação com a variável número de estabelecimentos agropecuários com 50 pés e mais existentes da lavoura permanente.

Dentre as variáveis incorporadas a essa dimensão latente, a variável referente a lavoura permanente apresentou a carga fatorial mais elevada. Ao examinar os dados do Censo Agropecuário de 2017, verifica-se que 19,7%¹⁸ dos estabelecimentos familiares estão envolvidos na produção dessa atividade econômica, ocupando cerca de 10,5%¹⁹ da área total e contribuindo com 53,6%²⁰ do valor da produção vegetal (IBGE, 2019). Com isso, revela-se a notoriedade dessa atividade econômica para a agricultura familiar dos municípios mineiros.

13 Valor calculado por meio da Tabela 6873 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

14 Valor calculado por meio da Tabela 6898 - Variável: Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

15 Valor calculado por meio da Tabela 6898 - Variável: Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

16 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

17 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Área dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

18 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

19 Valor calculado por meio da Tabela 6878 - Variável: Área dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

20 Valor calculado por meio da Tabela 6898 - Variável: Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

Essa análise evidencia a importância de políticas públicas e de investimentos que promovam o acesso a tecnologias mais avançadas aos agricultores familiares, visto sua possível relação com maiores produções. Ademais, de acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae, 2020), a implementação de recursos tecnológicos no setor agropecuário é crucial para a redução de custos, melhoramento de processos, minimização de erros, tornando o estabelecimento mais lucrativo e rentável.

Os resultados obtidos com o segundo e com o terceiro fator indicam a importância das lavouras temporárias (milho, cana de açúcar, soja etc.) e permanentes (café, banana, tangerina etc.) para o estado de Minas Gerais, visto que ambas as atividades econômicas são cruciais para o valor arrecadado em produção vegetal no estado e, dessa forma, para geração de renda aos agricultores familiares. Logo, tais dados indicam a capacidade de comercialização e contribuição econômica desses cultivos aos estabelecimentos agropecuários familiares.

Além disso, a existência de diferentes tipos de lavouras é uma evidência de como a diversificação da produção é relevante para o fortalecimento da agricultura familiar. Há constatações empíricas de que o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) gera um efeito positivo em termos de aumento da diversificação da produção destinada à comercialização da agricultura familiar (Modenese; Sant'Ana, 2019). Sendo assim, ressalta-se a diversificação da produção como um importante aspecto para o acesso a políticas públicas, ao mesmo tempo que a participação em mercados institucionais pode contribuir para aumentar a diversificação da produção, diante das demandas estabelecidas nas chamadas públicas. Esses insights podem gerar espaços para estudos futuros, relacionando a diversificação da produção com o acesso e o aumento da participação de agricultores familiares em políticas públicas, como o PAA e o PNAE.

O quarto fator foi nomeado de Produção Agrícola com Práticas de Cultivo, na qual foram agrupadas três variáveis: número de estabelecimentos agropecuários com horticultura (estagrohort), número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação (estagroirri) e número de estabelecimentos que utilizaram cultivo convencional (agrocult). Nesse sentido, por formarem esse constructo, supõe-se que estabelecimentos familiares que se dedicam à produção agrícola, especialmente na área da horticultura, tendem a adotar práticas de cultivo, como o uso de irrigação e cultivo convencional, dentre outras características relacionadas ao fator latente. Essa análise sugere a tendência de os estabelecimentos familiares mineiros buscarem formas de diversificação agrícola que compreendem também a horticultura. Entre as variáveis incluídas no fator, o número de estabelecimentos agropecuários com horticultura apresentou a carga fatorial mais elevada, indicando uma forte relação dessa variável com a dimensão subjacente.

Essa relação é reforçada pelo fato de 12%²¹ do valor advindo da produção vegetal por estabelecimentos familiares em Minas Gerais serem da horticultura (IBGE, 2019). Além disso, é pertinente ressaltar a relevância da horticultura no contexto da produção familiar, visto sua acessibilidade, diversidade de cultivos e sazonalidades produtivas (Britto; Cardoso, 2019). A horticultura também é relevante como produtos da agricultura familiar destinados para a política pública da alimentação escolar (Simonino, 2023).

Em sequência, nota-se também a tendência da adoção de práticas de cultivo, como irrigação e cultivo convencional, pelos estabelecimentos familiares, visando melhorar a efetividade da produção agrícola. A presença de estabelecimentos familiares com uso de irrigação (10,3%²²) indica a busca pela otimização dos recursos hídricos, ainda que incipiente, sendo que apenas 2,5%²³ da área total desses estabelecimentos é irrigada (IBGE, 2019).

Quanto à prática de cultivo convencional, que diz respeito a uma modalidade de preparação do solo com a implementação de técnicas como aração, gradagem, semeadura e agrotóxicos na agricultura (Albuquerque Filho et al. 2021), observa-se a propensão dos agricultores familiares em optarem por implantá-la, uma vez que 42%²⁴ dos estabelecimentos familiares nos quais os dirigentes aplicaram a preparação do solo, optaram pelo uso do cultivo convencional (IBGE, 2019).

21 Valor calculado por meio da Tabela 6898 - Variável: Valor da produção dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

22 Valor calculado por meio da Tabela 6857 - Variável: Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação (Unidades) e Tabela 6778 - Número de estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

23 Valor calculado por meio da Tabela 6857 - Variável: Área irrigada dos estabelecimentos agropecuários e Tabela 6878 - Variável: Área dos estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2019).

24 Valor calculado por meio da Tabela 6855 - Variáveis: Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram sistema de preparo do solo e Número de estabelecimentos agropecuários que utilizaram cultivo convencional (IBGE, 2019).

Por fim, ao analisar os quatro fatores extraídos em análise fatorial, observa-se a incidência de variáveis atreladas a diferentes grupos de atividades econômicas (pecuária, lavouras temporárias, lavouras permanentes e horticultura), ocupando a colocação de variáveis com maior carga fatorial para com seus respectivos fatores. Variáveis com as maiores cargas fatoriais devem ser consideradas as mais importantes para a interpretação dos fatores (Hair et al., 2009). Desse modo, conclui-se que os grupos de atividades econômicas citados são elementos fundamentais para o fortalecimento e caracterização da agricultura familiar em Minas Gerais, visto a estreita relação entre essas variáveis com cada fator evidenciado na análise fatorial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo cumpre o objetivo de caracterizar a agricultura familiar no estado de Minas Gerais a partir de fatores determinantes para o seu fortalecimento, sendo revelados quatro fatores que, conjuntamente, explicam 91,78% da variância total explicada das variáveis originais. Essas quatro dimensões reveladas foram nomeadas de i) Características Gerais dos Estabelecimentos Familiares, ii) Mecanização e Desempenho Financeiro, iii) Tecnologia e Tamanho da Produção Agrícola, e v) Produção Agrícola com Práticas de Cultivo.

Os resultados da análise fatorial revelaram o papel crucial do investimento em tecnologia e infraestrutura para a potencialização da atividade produtiva dos agricultores familiares, visto a relação existente entre a implementação de recursos tecnológicos, como veículos, máquinas agrícolas e práticas de cultivo na maximização da produção e maior desempenho econômico das propriedades. Desse modo, reconhece-se a importância da disponibilização de serviços de Ater e de crédito rural aos agricultores familiares, dada a necessidade de implementação de novas tecnologias, a fim de impulsionar a produtividade e rentabilidade dos estabelecimentos familiares. Ressalta-se também a relevância de políticas públicas voltadas para a comercialização de produtos para a agricultura familiar, como os mercados institucionais, pois geram mecanismos para o escoamento e a comercialização da produção.

Além do mais, foi constatada uma forte relação entre os quatro fatores e os diferentes grupos de atividades econômicas que compõem o segmento, incluindo pecuária, lavouras temporárias, lavouras permanentes e horticultura. Logo, evidencia-se a participação estratégica desses elementos na caracterização e no fortalecimento da agricultura familiar em Minas Gerais. Nesse contexto, ao analisar estudos voltados a outras unidades da federação, observa-se a expressiva participação dessas atividades econômicas nos estabelecimentos familiares brasileiros, com destaque para as particularidades de cada região, estado ou município. Essas atividades produtivas são fundamentais para geração de trabalho, renda e alimento para as famílias rurais brasileiras.

Esta pesquisa visa estimular estudos de casos múltiplos em outras regiões, estados e municípios, especialmente em municípios mineiros que se diferenciam quanto ao perfil da agricultura familiar, trazendo práticas de gestão e implementação de políticas públicas mais assertivas a realidade de cada território. Sugere-se também a aplicação de outras técnicas de análise multivariada de dados que possam fazer outros tipos de inferências com as variáveis aqui aplicadas e outras variáveis do Censo Agropecuário de 2017, a exemplo de regressões lineares múltiplas e análise de *clusters*. Essas análises podem ser realizadas à luz de abordagens teóricas, como teorias do desenvolvimento (rural, territorial, econômico etc.) que contemplam diferentes dimensões de análise.

Contudo, torna-se válido destacar algumas limitações na respectiva pesquisa. Como mencionado anteriormente, a técnica de análise fatorial não permite a identificação de relações de causalidade entre as variáveis, o que impossibilita a investigação de uma relação causal entre os fatores identificados e o desempenho da agricultura familiar. Dessa forma, recomenda-se que, em pesquisas futuras, sejam implementadas outras técnicas de análise multivariada de dados capazes de realizar tais inferências, de forma complementar. Ademais, percebe-se uma visível desatualização dos dados da agricultura familiar, considerando as inúmeras implicações causadas pela pandemia da Covid-19, por exemplo. Portanto, indica-se a utilização de dados mais atualizados para pesquisas futuras. Por fim, devido às particularidades

da agricultura familiar presente em cada município, dificulta-se a generalização dos resultados. Assim, para a obtenção de resultados mais precisos acerca dessas localidades, torna-se necessário a realização de pesquisas semelhantes em municípios e microrregiões específicas de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

ABREU, C.; OLIVEIRA, A. L. A.; ROBOREDO, D. A agricultura familiar no estado de Mato Grosso: um olhar a partir do Censo Agropecuário 2017. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta v. 19, n. 2, p. 81-92, 2021.

AGÊNCIA IBGE. **Censo Agropecuário completa 100 anos e retrata história do setor no país**. Agência de Notícias IBGE, Rio de Janeiro, 1 set. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28727-censo-agropecuaria-completa-100-anos-e-retrata-historia-do-setor-no-pais>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. et al. **Plantio convencional**. Embrapa, Brasília, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>. Acesso em: 18 set. 2022.

ALTAFIN, I. Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar. Brasília: **Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS/UnB)**, 2007.

AQUINO, J. R. et al. Agricultura familiar no Rio Grande do Norte segundo o Censo Agropecuário 2017: perfil e desafios para o desenvolvimento rural. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 113-131, ago. 2020.

AQUINO, J. R.; ALVES, M. O.; VIDAL, M. F. Agricultura familiar no Nordeste do Brasil: um retrato atualizado a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 31-54, ago. 2020.

BARBOSA, L. C. B. G.; BRANDÃO, T. F. B. Agricultura familiar e desenvolvimento rural em Alagoas: um olhar a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 173-194, ago. 2020.

BEZERRA, F. A. Análise Fatorial. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. (Org.). **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2007. p. 73-130.

BRASIL. **Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017**. Dispõe sobre a Unidade Familiar de Produção Agrária, institui o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar e regulamenta a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e empreendimentos familiares rurais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. extra, 31 mai. 2017.

BRASIL. **Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009**. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica; altera as Leis nºs 10.880, de 9 de junho de 2004, 11.273, de 6 de fevereiro de 2006, 11.507, de 20 de julho de 2007; revoga dispositivos da Medida Provisória nº 2.178-36, de 24 de agosto de 2001, e a Lei nº 8.913, de 12 de julho de 1994; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 jun. 2009.

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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 jul. 2006.

BRITTO, Á. S. de; CARDOSO, G. M. C. A hegemonia da horticultura do município de Amélia Rodrigues – BA: um relato da agricultura familiar local. **Revista Campo-Território**, Uberlândia, v. 13, n. 30, p. 237-246, ago. 2019.

CORREA, A. T. et al. Caracterização da agricultura familiar na produção agropecuária paraense a partir do Censo Agropecuário 2017. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, Belém, v. 12, n. 1, p. 21-34, jan. 2023.

COSTA, J. E.; CARVALHO, D. M. Agricultura familiar no estado de Sergipe: uma leitura a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 195-209, ago. 2020.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA, R. S. A. et al. Peculiaridades da agricultura familiar no Estado do Amazonas: considerações com base no Censo Agropecuário de 2017. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e35691211067, 2020.

FORTINI, R. M. **Um novo retrato da agricultura familiar do estado de Minas Gerais: a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017**. Viçosa: Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de Viçosa, 2021.

GRISA, C.; SCHNEIDER, S.; CONTERATO, M. A. **A produção para autoconsumo no Brasil: uma análise a partir do Censo Agropecuário 2006**. Relatório de pesquisa. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2013.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE/SIDRA. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Brasília: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017/resultados-definitivos>. Acesso em: 18 jun. de 2023.

MACHADO, I. T. B.; DA SILVA, M. O papel da agricultura familiar frente às possibilidades para o desenvolvimento territorial rural. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 7, p. e5573, 2024.

MARQUES, V. P. M. A.; CRUZ, F. T. Processamento de alimentos pela agricultura familiar no Rio Grande do Sul pelas lentes do Censo Agropecuário 2017. **DRd – Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 12, ed. esp. (Dossiê), p. 239–264, fev. 2022.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise fatorial**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 2019.

MODENESE, V. S.; SANT'ANA, A. L. Diversificação produtiva e de comercialização de agricultores familiares assentados de Mirandópolis (SP): contribuições do Programa de Aquisição de Alimentos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília-DF, v. 57, p. 636–655, 2019.

MORAES, 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**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 71–91, ago. 2020.

OLIVEIRA, M. G. de C.; PEREIRA, R. M. **Importância da mecanização na agricultura familiar brasileira**. ClicNews, 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/869390>. Acesso em: 16 ago. de 2023.

PERES JÚNIOR, M. R. et al. Caracterização e agrupamento de municípios de Minas Gerais em relação à agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 3, p. 75–99, 2013.

SAMPAIO, Y. S. B.; VITAL, T. W. Agricultura familiar em Pernambuco: o que diz o Censo Agropecuário de 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 155–171, ago. 2020.

SANTOS, I. P. et al. O. Agricultura familiar no Maranhão: uma breve análise do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 55–70, ago. 2020.

SCHNEIDER, S. **A pluriatividade na agricultura familiar**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Análise de tendências e lacunas tecnológicas do setor agrícola: inovações, tendências e oportunidades. **Prointerbio**, Rio de Janeiro, p. 1–99, 2020.

SILVA, A.; GAZOLLA, M.; OLIVEIRA, N. S. M. N. A agricultura familiar nos dados do Censo Agropecuário 2017: uma análise comparativa do seu “tamanho” e perfil entre os três estados do Sul. **DRd – Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 12, p. 7–37, 2022.

SILVA, E. M.; REIS, L. L. M.; COUTO, V. A. Agricultura familiar na Bahia: uma análise dos dados do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 211–226, ago. 2020.

SILVA, R. M. A. et al. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 55, p. 314–338, dez. 2020.

SIMONINO, C. T. **Implementação do Programa Nacional de Alimentação Escolar na pandemia da Covid-19: estudo de caso no município de Viçosa/MG**. 2023. 109 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2023.

TARGINO, I.; MOREIRA, E. R. F. Agricultura familiar na Paraíba: perfil com base no Censo Agropecuário de 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 133–154, ago. 2020.