



MODELO ESTRATÉGICO DE ANÁLISE E FORMAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTES NA AMAZÔNIA COMO ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO CUSTO BRASIL

**STRATEGIC MODEL OF ANALYSIS AND DESIGN OF TRANSPORT NETWORKS IN
THE AMAZON AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE THE BRAZILIAN COST**

ARCLOG NORTE

NORTH ARCLOG

RELATÓRIO ETAPAS 3 E 4 / REPORT STEPS 3 AND 4:

**MODELAGEM DE DEMANDA E ANÁLISE DE REDES LOGÍSTICAS
MODELING DEMAND AND LOGISTICS NETWORK ANALYSIS**



MODELO ESTRATÉGICO DE ANÁLISE E FORMAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTES NA AMAZÔNIA COMO ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO CUSTO BRASIL

**STRATEGIC MODEL OF ANALYSIS AND DESIGN OF TRANSPORT NETWORKS IN THE
AMAZON AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE THE BRAZILIAN COST**

ARCLOG NORTE

NORTH ARCLOG

RELATÓRIO ETAPAS 3 E 4 / REPORT STEPS 3 AND 4:

**MODELAGEM DE DEMANDA E ANÁLISE DE REDES LOGÍSTICAS
MODELING DEMAND AND LOGISTICS NETWORK ANALYSIS**

Projeto ARCLOG NORTE

Coordenadora: Maisa Sales Gama Tobias

Executora: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI

CNPq/FNDCT/MCTI 15/2022 - Faixa A – CHAMADA CT-TRANSPORTES

Processo: 405569/2022-0

2024



MODELO ESTRATÉGICO DE ANÁLISE E FORMAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTES NA AMAZÔNIA COMO ALTERNATIVA DE REDUÇÃO DO CUSTO BRASIL - ARCLOGNORTE

Relatório Etapas 3 e 4:

Modelagem de Demanda e Análise de Redes Logísticas *Demand Modeling and Analysis of Logistics Networks*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Modelo estratégico de análise e formação de redes de transportes na Amazônia como alternativa de redução do custo Brasil : ARCLOG Norte : relatório etapas 3 e 4 : modelagem de demanda e análise de redes logísticas [livro eletrônico] / coordenadora Maisa Sales Gama Tobias. -- 1. ed. -- Belém, PA : Ed. dos Autores, 2025.
ePub

Vários autores.
Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-46669-9

1. Amazônia 2. Logística (Organização) - Administração 3. Logística (Organização) - Custos 4. Logística (Organização) - Planejamento 5. Logística de transporte 6. Transporte

25-271600

CDD-388

Índices para catálogo sistemático:

1. Logística de transportes 388

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

GRUPO DE PESQUISA

Grupo de Pesquisa: **Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de Projetos de Transportes**

Link no Diretório do CNPQ: dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/6418667086041739

Executora:

Profa Dra Maisa Sales Gama Tobias – Universidade Federal do Pará (Coordenadora)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9635266655242384> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0888-0685>

Prof. Dr Nelio Moura de Figueiredo - Universidade Federal do Pará (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0023753941604707> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6430-4623>

Prof. Dr Hito Braga de Moraes - Universidade Federal do Pará (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5044859479302394> Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0214-0587>

Prof. Dr Marcus Pinto da Costa da Rocha - Universidade Federal do Pará (Pesquisador)
[in memoriam]

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7169569605967930> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1849-1982>

Prof. Dr Miércio Cardoso de Alcântara Neto - Universidade Federal do Pará (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0549389076806391> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8551-2261>

Prof. Dr Valcir João da Cunha Farias - Universidade Federal do Pará (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4958123373113545> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2564-2195>

Profa Dra Profa Dra Rita de Cassia Monteiro de Moraes – Universidade Federal do Pará (Pesquisadora)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9635266655242384> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0888-0685>

Colaboradoras:

Prof. Dr Alessandro de Castro Corrêa – Instituto Federal de Educação do Pará (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6408989265441974> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6632-3230>

Prof. Dr Cristiano Farias Almeida - Universidade Federal de Goiás (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9848560935338784> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5769-3675>

Prof. Dr Humberto de Paiva Junior - Universidade Federal do ABC (Pesquisador)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9949718340030535> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4189-8190>

Prof. Dr Rui António Rodrigues Ramos - Universidade do Minho (Pesquisador)
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1299527676733746> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6690-5940>

Prof. Dr Daniel Souto Rodrigues - Universidade do Minho (Pesquisador)
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7362766032099097> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4729-8225>

Prof. Dr Paulo Sérgio Lima Pereira Afonso - Universidade do Minho (Pesquisador)
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7605693551507241> Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3882-2491>

Representantes de Empresas Parceiras do Projeto:

Elisângela da Silva dos Santos de Alencar – Rodoflúvial Banav Ltda (Mestre em Engenharia Naval)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3504836495242296>

Marina Paes Carvalho Teixeira – Mega Logística Serviços Portuários Ltda (Especialista em Gestão de Negócios com ênfase em Logística)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8730018475723294>

Bolsistas CNPQ:

Victória Lima de Oliveira – Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7222256554033103> ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7018-689X>

Felipe Silva Aleixo – Faculdade de Engenharia Civil – ITEC/UFPA – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0660075518416922> ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7850-5562>

Ana Paula Esteves Fleury - Apoio Técnico – FENAV/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7824547054078896> ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9513-6716>

Bolsistas PIBIC/UFPA/FAPESPA:

Alícia Mourão Gouvêa – Faculdade de Engenharia Civil – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6062658273465617> ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7939-9134>

Andrya Juliane Coêlho Nunes – Faculdade de Engenharia Civil – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8020394414812862> ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6632-9188>

Ex-Bolsistas PIBIC/UFPA e PIVIC/UFPA:

Amanda Gracielly dos Santos Pinto – Faculdade de Engenharia Civil – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1817421928703689> ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0747-3994>

Robson Ryan Sousa Moura – Faculdade de Engenharia Civil – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8119151724713523> ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3643-5554>

RESUMO DO PROJETO ARCLOG NORTE

O Brasil possui significativa produção agrícola, cujo escoamento se configura em desafio logístico devido a restrições e limitações das infraestruturas de transporte. Destaque especial se faz para produção de soja advinda do Centro-Oeste, com rotas de transporte que saem dessa região para portos do Sul e Sudeste do país e, em parte, para os portos dos estados da região Norte. A produção de grãos brasileira cresceu 5,7% e atingiu 271,7 milhões de toneladas e, no caso da soja, constatou-se um aumento de produtividade e de produção de 4,5% e de 8,9%, respectivamente, comparando as safras de 19/20 com 20/21. Por outro lado, os custos com os fretes estão, em média, 12% superiores a 2020. O “Arco Amazônico” (AA), porção norte do “Arco Norte”, com eixos de transporte que levam a portos situados acima do paralelo 16° S, vem sendo a principal alternativa de redução do custo frete da safra do centro-norte do Mato Grosso. Atualmente, diversos estudos técnicos têm demonstrado através de simulações de rotas alternativas de distâncias 36% menores e fretes 25% mais baratos. Tornar a cadeia de transporte do Arco Norte mais eficiente, aproveitando as vantagens competitivas dos portos, constitui-se condição primordial para manter a competitividade do Brasil nos mercados internacionais. Pesquisas voltadas à formulação de modelos de análise dos entraves logísticos podem contribuir na conjugação de arranjos de redes logísticas e de infraestruturas, considerando os investimentos necessários. O projeto propõe um modelo estratégico de análise e construção de redes de transporte, partindo da modelagem e análise de redes de transporte, sob condições econômicas, sociais e ambientais da região. A análise das redes logísticas seguirá em vertentes que envolvem modelagem multicritério, admitindo incertezas, mediante uma região em expansão de fronteiras. A metodologia envolve diversas técnicas: parte da definição da rede logística atual em SIG, bem como as infraestruturas já planejadas em cima da atual rede; do levantamento das origens e destinos da demanda de soja e respectivos volumes para exportação, com o uso da análise de *cluster* hierárquica do SPSS para a aglomeração e identificação das principais regiões de produção; dando sequência, na aplicação do método AHP-TOPSIS para ponderação de atributos relevantes no processo de escolha da rotas, junto aos *stakeholders*, a serem convertidos em medidas de desempenho, representadas numa matriz de decisão e; a partir desta, a análise a competitividade do conjunto rota-porto, para se obter as soluções de maiores benefícios em contraponto com as de maiores custos. Com a classificação hierárquica dos portos/rotas, tem-se as melhores alternativas e os portos mais competitivos e; por fim, a definição da rede logística ótima e possíveis investimentos é feita com uso de avaliação multicritério de rotas e modais alternativos e, respectiva otimização. O modelo de otimização é suportado pela ponderação das redes, tendo em vista os fluxos e modais atuais, em forma de grafos com rotas otimizadas por ferramentas do ARGIS. Dentre os resultados esperados do projeto tem-se: a identificação de atributos da infraestrutura de transportes, dos condicionantes da viabilidade dos portos e os investimentos necessários para o aumento da eficiência operacional; a apresentação das origens e destinos de cargas, seja na identificação do grau de saturação dos portos e de possíveis sobreposições de carga exportadas entre os portos, podendo contribuir para o planejamento, em simulações e estimativas de cargas entre os portos, na elaboração de estratégias de utilização das infraestruturas portuárias e os efeitos sobre os custos logísticos.

SUMMARY OF THE ARCLOG NORTH PROJECT

Brazil has a significant agricultural output, yet the transportation and distribution of these products face major logistical challenges due to limitations in the country's transport infrastructure. Soybean production from the Central-West region stands out, with most transport routes directed toward ports in the South and Southeast, and to a lesser extent, toward ports in the North. Between the 2019/2020 and 2020/2021 harvests, Brazil's grain production increased by 5.7%, reaching 271.7 million tons. Specifically, soybean productivity rose by 4.5%, and overall production grew by 8.9%. However, freight costs also saw a rise, with an average increase of 12% compared to 2020.

In response to these challenges, the “Amazon Arc” (AA), which forms the northern portion of the so-called “Northern Arc” — a network of transportation corridors leading to ports located above the 16° S parallel — has emerged as a key alternative for reducing freight costs for crops originating in the central-northern region of Mato Grosso. Technical studies based on route simulations demonstrated that using these alternative routes could reduce travel distances by up to 36% and freight costs by up to 25%.

Enhancing the efficiency of logistics in the Northern Arc by leveraging the competitive advantages of its ports has thus become essential for maintaining Brazil's competitiveness in international markets. Against this backdrop, this research developed strategic models to analyze logistical bottlenecks and support the planning of efficient logistics and infrastructure networks, identifying the investments needed to enhance performance.

The project proposes a strategic model for analyzing and designing transportation networks, based on the modeling of logistical systems under the specific economic, social, and environmental conditions of the Amazon region. The methodology employed multi-criteria modeling to address the uncertainties associated with a region undergoing rapid frontier expansion. The research was structured in several stages: defining the current logistics network using Geographic Information Systems (GIS), including both existing and planned infrastructure; mapping soybean origin-destination flows and corresponding export volumes through hierarchical cluster analysis (using SPSS) to identify major production regions; applying the AHP-TOPSIS method to weight key attributes in the route selection process with stakeholder input, which were then translated into performance indicators and structured into a decision matrix.

This matrix supported a competitiveness analysis evaluating each route-port combination to identify the most advantageous alternatives relative to higher-cost options. The most competitive options were determined through the hierarchical classification of routes and ports. A multi-criteria assessment of these alternatives led to the definition of optimal logistics networks and the identification of necessary investments, with support from optimization techniques based on weighted network graphs reflecting current transport flows and modes. Optimized routes were generated using ArcGIS tools.

The expected outcomes of the project include the identification of key attributes of transport infrastructure, analysis of the main factors determining the economic viability of required investments, mapping of cargo origins and destinations — including port saturation and potential overlaps in export flows — and strategic planning support through simulations and flow estimates. These outputs contribute to the development of strategies aimed at improving port infrastructure utilization and reducing overall logistics costs.

APRESENTAÇÃO - ETAPAS 3 E 4

Este relatório apresenta o progresso alcançado nas Etapas 3 e 4 do projeto ARCLOG NORTE, cujo objetivo geral é desenvolver um modelo estratégico para a análise e o planejamento de redes de transporte na região amazônica. A pesquisa, conduzida por meio de uma abordagem multidisciplinar, integra modelagem de demanda e análise de redes logísticas, considerando as condições econômicas, sociais e ambientais específicas da região.

Etapa 3 – Modelagem e Análise da Rede Logística concentraram-se na formulação e teste de modelos matemáticos para avaliar a logística de transporte da soja no estado do Mato Grosso. Técnicas de análise multivariada e de agrupamento foram aplicadas para segmentar os municípios produtores de soja, juntamente com métodos de decisão multicritério (AHP-TOPSIS) para identificar as rotas logísticas mais eficientes. A Análise de Componentes Principais (PCA) revelou que a infraestrutura de transporte é um fator-chave na competitividade das regiões produtoras. O agrupamento hierárquico permitiu a classificação dos municípios em dois grandes grupos: um com infraestrutura consolidada e alta produção agrícola, e outro com potencial de crescimento, mas enfrentando deficiências logísticas.

Na fase de modelagem de rotas, o método AHP-TOPSIS foi utilizado para ranquear os critérios logísticos, atribuindo pesos às variáveis que influenciam a seleção da rota ótima. Os resultados indicaram que o custo de transporte (38,29%) é o fator mais decisivo na escolha das alternativas logísticas, seguido pela frequência do transporte (17,39%) e pela segurança portuária (6,99%).

A rota intermodal BR-163 + Hidrovia Tapajós-Amazonas foi identificada como a mais vantajosa nas condições atuais, combinando menores custos com maior previsibilidade operacional.

Etapa 4 – Análise da Rede Logística envolveu a testagem e validação dos modelos logísticos por meio de simulações de cenários alternativos de infraestrutura. Três principais rotas de exportação da soja foram analisadas:

1. BR-163 + Hidrovia Tapajós-Amazonas até o Porto de Vila do Conde;
2. BR-163 + Ferrovia Ferronorte até o Porto de Santos;
3. BR-364 + Hidrovia Madeira-Amazonas até os Portos de Itacoatiara e Santarém.

Para avaliar os impactos da infraestrutura, foram simulados quatro cenários: duplicação da BR-163; extensão da Ferrovia Ferronorte até o município de Sorriso; duplicação da BR-364; e a implementação simultânea dos três cenários anteriores.

Os resultados mostraram que a extensão da Ferrovia Ferronorte até Sorriso gera o maior impacto positivo, permitindo uma redução de até 35% no custo médio de transporte e aumentando a previsibilidade logística. Embora as duplicações da BR-163 e BR-364 tenham melhorado o fluxo de tráfego, elas não resolveram a excessiva dependência do transporte rodoviário. As simulações confirmaram que a intermodalidade é essencial para reduzir custos e aumentar a competitividade do agronegócio brasileiro, reforçando a necessidade de investimentos prioritários em ferrovias e hidrovias.

Os achados dessas etapas estão alinhados com os objetivos específicos 2 e 3 do projeto. A modelagem das cadeias produtivas permitiu quantificar os impactos financeiros, econômicos e ambientais das diferentes rotas de transporte, enquanto a análise das redes logísticas possibilitou a validação dos modelos propostos e a identificação de soluções de infraestrutura eficientes para a região amazônica. Esses resultados reforçam a importância de estratégias que integrem investimentos em transporte intermodal, planejamento coordenado e otimização de custos, garantindo uma logística de exportação mais eficiente, sustentável e competitiva para o setor do agronegócio da região.

PRESENTATION - STEPS 3 AND 4

This report presents the progress achieved in Stages 3 and 4 of the ARCLOG NORTE project, whose overall objective is to develop a strategic model for the analysis and design of transport networks in the Amazon region. The research, conducted through a multidisciplinary approach, integrates demand modeling and logistics network analysis, considering the region's specific economic, social, and environmental conditions.

Stage 3 – Logistics Network Modeling and Analysis focused on the formulation and testing of mathematical models to evaluate soybean transport logistics in the state of Mato Grosso. Multivariate analysis and clustering techniques were applied to segment soybean-producing municipalities, along with multi-criteria decision-making methods (AHP-TOPSIS) to identify the most efficient logistics routes. Principal Component Analysis (PCA) revealed that transport infrastructure is a key factor in the competitiveness of producing regions. Hierarchical clustering enabled the classification of municipalities into two broad groups: one with consolidated infrastructure and high agricultural production, and another showing growth potential but facing logistical deficiencies.

In the route modeling phase, the AHP-TOPSIS method was used to rank logistical criteria, assigning weights to the variables influencing the selection of the optimal route. Results indicated that transport cost (38.29%) is the most decisive factor in selecting logistics alternatives, followed by transport frequency (17.39%) and port security (6.99%).

The intermodal route BR-163 + Tapajós-Amazonas Waterway was found as the most advantageous under current conditions, combining lower costs with greater operational predictability.

Stage 4 – Logistics Network Analysis involved the testing and validation of the logistics models through simulations of alternative infrastructure scenarios. Three main export routes for soybeans were analyzed:

1. BR-163 + Tapajós-Amazonas Waterway to the Port of Vila do Conde.
2. BR-163 + Ferronorte Railway to the Port of Santos.
3. BR-364 + Madeira-Amazonas Waterway to the Ports of Itacoatiara and Santarém.

To evaluate infrastructure impacts, four scenarios were simulated: duplication of BR-163; extension of the Ferronorte Railway to the municipality of Sorriso; duplication of BR-364; and the simultaneous implementation of all three previous scenarios.

The results showed that the extension of the Ferronorte Railway to Sorriso generates the greatest positive impact, enabling up to a 35% reduction in average transport costs and increasing logistical predictability. While the duplications of BR-163 and BR-364 improved traffic flow, they did not resolve the overreliance on road transport. Simulations confirmed that intermodality is essential to reducing costs and enhancing the competitiveness of Brazilian agribusiness, reinforcing the need for priority investments in railways and waterways.

The findings from these stages are aligned with the project's specific objectives 2 and 3. The modeling of production chains enabled the quantification of financial, economic, and environmental impacts across different transport routes, while the analysis of logistics networks allowed for the validation of the proposed models and the identification of efficient infrastructure solutions for the Amazon region. These results reinforce the importance of strategies that integrate intermodal transport investments, coordinated planning, and cost optimization, ensuring more efficient, sustainable, and competitive export logistics for the region's agribusiness sector.

SUMÁRIO

1 A PESQUISA ARCLOG NORTE	12
1.1 Contextualização do Projeto	12
1.2 Estrutura do Relatório	14
2 METODOLOGIA	16
2.1 Abordagem Metodológica	17
2.2 Análise de <i>Clusters</i> para Segmentação de Regiões Produtivas	19
2.3 Técnicas de Tomada de Decisão Multicritério (AHP-TOPSIS)	20
2.4 Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Modelagem Logística	21
3 FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS E DA BASE ANALÍTICA.....	23
3.1 Estratégia de Levantamento de Dados	24
3.2 Pesquisa Documental	25
3.3 Pesquisa de Campo	29
3.4 Estruturação e Validação do Banco de Dados	32
4 MODELO DE DEMANDA E ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 3...	35
4.1 Análise Multivariada e Segmentação dos Municípios Produtores	35
4.2 Atribuição de Pesos aos Critérios Logísticos: Aplicação do AHP	40
5 ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 4.....	46
5.1 Simulação de Cenários e Impacto das Infraestruturas	46
5.2 Avaliação de Critérios Logísticos por AHP-TOPSIS	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS	70
ANEXO I – Questionário sobre Pesos e Critérios de Escolha	70
ANEXO II - Questionário sobre Escolha de Rota.....	72

A PESQUISA ARCLOG NORTE



1 A PESQUISA ARCLOG NORTE

A motivação desta pesquisa reside na contribuição da academia para a sociedade, no fortalecimento da economia e aumento da eficiência de transportes do Arco Amazônico - AA, porção norte do “Arco Norte”, com soluções logísticas que promovam a integração regional, o desenvolvimento humano e o respeito às condições ambientais. Tem uma relevância incontestável, considerando o avanço da fronteira agrícola, que atualmente tem o valor de custo de transporte agregado à produção na origem, cujo preço chega ao mercado com perda de competitividade (Vieira Filho; Gasques, 2023).

Complementarmente, os avanços científicos, fruto da oportunidade de testar modelos teóricos para a realidade emergente, sob condições de incerteza, utilizando projeções de demanda e fluxos de transportes, aplicação de técnicas multivariadas de dados, abordagem estratégica dos custos financeiros envolvidos e, ainda, a estimativa da pegada carbônica que o uso racional da intermodalidade poderá beneficiar ao meio ambiente da região, com a introdução do transporte hidroviário, por exemplo, são instrumentos analíticos de ponta e inovadores, inclusive, do ponto de vista de estudos já realizados na região, e que se utiliza nesta pesquisa, contemporizando o conhecimento científico atual e atingindo fronteiras que poderão culminar em novas teorias e modelos para a ciência.

O modelo estratégico como resultado da articulação de três vertentes analíticas, envolvendo uma equipe multidisciplinar na engenharia e nas ciências sociais aplicadas, se torna do ponto de vista metodológico algo diferenciado. A articulação nacional e internacional no grupo enriquece as abordagens e a capacidade analítica nos resultados, por abrigar diferentes vivências sobre a mesma questão. Acrescenta-se a parceria com duas empresas amazônicas, com experiência no transporte de carga e de passageiros, que traz para o projeto a sua visão empresarial e de quem conhece o mercado, e a operação em navegação e portuária. Aliados os conhecimentos acadêmicos e os empíricos, ter-se-á o enriquecimento do debate e dos seus resultados, além da difusão dos resultados do projeto diretamente para os *stakeholders*, favorecendo o setor produtivo e transportadores, a sociedade em geral.

1.1 Contextualização do Projeto

O projeto ARCLOG NORTE foi concebido com o objetivo de desenvolver um modelo estratégico de análise e construção de redes de transporte na Amazônia, partindo da modelagem da demanda e das redes logísticas sob condições econômicas, sociais e

ambientais. A proposta visa reduzir os custos logísticos, melhorar a competitividade do setor de transportes e aumentar a sustentabilidade da infraestrutura regional, tornando-a mais eficiente e integrada.

A pesquisa responde à necessidade crescente de planejamento e otimização do escoamento da produção do Arco Amazônico (AA), porção norte do Arco Norte, que tem se consolidado como alternativa viável para o escoamento da produção agrícola do Centro-Oeste brasileiro (Câmara dos deputados, 2021). Atualmente, os portos dessa região oferecem um trajeto 36% menor e fretes 25% mais baratos em relação a rotas tradicionais, tornando-se um elemento essencial para manter a competitividade do Brasil nos mercados internacionais. A importância do projeto está ancorada em três eixos fundamentais:

1. Infraestrutura e Logística – A falta de um sistema logístico eficiente impacta diretamente os custos do transporte de commodities, resultando no chamado "Custo Brasil". O desenvolvimento de uma rede intermodal eficiente pode mitigar esse problema.
2. Sustentabilidade – A integração de diferentes modais de transporte, especialmente o hidroviário, pode reduzir a pegada de carbono do setor, alinhando-se às metas do Acordo de Paris e promovendo um transporte mais sustentável. Um estudo sobre as emissões de CO₂ na logística de exportação da soja do Mato Grosso demonstra que a utilização de rotas intermodais via o Arco Norte reduz significativamente a pegada de carbono no escoamento da produção. Os resultados indicam que investimentos na ampliação da infraestrutura hidroviária podem gerar uma alternativa logística mais sustentável e eficiente para a exportação de *commodities* agrícolas (João *et al.*, 2016).
3. Tomada de Decisão e Planejamento Estratégico – A modelagem matemática permite testar diferentes cenários, prevendo impactos econômicos, financeiros e ambientais de diferentes arranjos logísticos.

O projeto ARCLOG NORTE está estruturado em quatro grandes objetivos, alinhados à necessidade de desenvolvimento e validação de modelos logísticos aplicáveis ao escoamento da produção agrícola da região:

1. Caracterizar de forma diagnóstica o Arco Amazônico, consolidando uma base de informações sobre sua infraestrutura, dinâmica de transporte e impactos econômicos.
2. Desenvolver a modelagem das cadeias produtivas, estimando custos e impactos financeiros, econômicos e ambientais das diferentes opções logísticas.

3. Analisar as redes logísticas, testando e validando modelos logísticos em cenários alternativos de desenvolvimento.
4. Elaborar um modelo estratégico de análise, que permita a avaliação da sensibilidade dos investimentos e impactos dos projetos de redes propostas.

Este relatório parcial concentra-se especificamente na realização das Etapas 3 e 4, que envolvem a modelagem da demanda e a análise das redes logísticas.

1.2 Estrutura do Relatório

Para facilitar a compreensão e organização das informações, o documento está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – A Pesquisa ARCLOG: introdução ao projeto, destacando seus objetivos, relevância e o escopo do relatório parcial.
- Capítulo 2 – Metodologia: apresentação das abordagens metodológicas utilizadas, incluindo modelagem matemática, análise de clusters e técnicas de decisão multicritério.
- Capítulo 3 – Formação de banco de dados e da base analítica: descrição da coleta, organização e estruturação dos dados utilizados na pesquisa.
- Capítulo 4 – Modelagem de Demanda: detalhamento da Etapa 3, com a estruturação dos dados, os modelos aplicados e os resultados obtidos.
- Capítulo 5 – Análise das Redes Logísticas: apresentação da Etapa 4, incluindo a validação dos modelos logísticos, análise da competitividade das redes e hierarquização das rotas e portos.
- Capítulo 6 – Considerações Finais: síntese dos principais achados do estudo, desafios enfrentados e perspectivas futuras para o desenvolvimento do projeto.

Essa estrutura permite uma apresentação clara e detalhada dos avanços do ARCLOG NORTE, em particular das etapas 3 e 4 do projeto em desenvolvimento, organizando os resultados de forma objetiva e facilitando a compreensão dos métodos aplicados e das contribuições geradas pela pesquisa.

METODOLOGIA



2 METODOLOGIA

O projeto em si tem caráter subjacente de interdisciplinaridade. Partindo do que apregoa Frigotto (1995, p. 31) quando diz que “a interdisciplinaridade se apresenta como problema pelos limites do sujeito que busca construir o conhecimento de uma determinada realidade e, por outro lado, pela complexidade desta realidade e seu caráter histórico”. De fato, a proposição de um projeto na escala de complexidade da região amazônica, insurge diversas questões de caráter social, econômico, geopolítico e ambiental, que não deve ser analisada sob o ponto de vista uni disciplinar.

A proposta metodológica do projeto pressupõe abordagens analíticas (axiomática, econômica/ambiental e de transportes) que se integram, transversalmente pela articulação de conceitos comuns a duas ou mais disciplinas, buscando estabelecer um modelo logístico que, em sua essência, tem esse caráter inovador de junção da modelagem de demanda e de custos e da análise de redes de transportes como categorias de análise fundamentais para tratar a situação-problema.

O escopo integral do projeto é constituído das seguintes etapas:

1. *Levantamento e Formação de Banco de Dados (2023)*: Levantamento inicial de bibliografia sobre o assunto, envolvendo informações de caráter geral - demografia, políticas públicas, economia, rede física, tecnologias de transporte. Para alimentar as vertentes analíticas do projeto foram levantadas a demanda agrícola, custos generalizados de produção, custos de atividades e de transportes de ligações existentes e dos operadores logísticos, caracterização econômica da estrutura produtiva e, ainda, feito o mapeamento georreferenciado da rede física de acessibilidade existente e respectivas tecnologias de transportes e rede de apoio, portos e terminais.

2. *Caracterização Diagnóstica da Demanda, dos Custos de Transportes Envolvidos e os Arranjos Logísticos atuais de transporte (2023)*: Realização de comunicação técnica de efeito diagnóstica, identificando os principais problemas e desafios a serem vencidos, delineando a realidade existente e abrindo discussão em torno das soluções. Foi realizado um evento online em novembro/23 em uma das instituições colaboradoras, a UFABC (<https://youtu.be/79uwunjxa8?si=qfaywtvfd2wy1mgj>), para compartilhar informações com os envolvidos no segmento e aperfeiçoar o Relatório Parcial em 2023 destas primeiras etapas, disponível *online* no repositório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da UFPA link: <https://ppgenav.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Relat%C3%B3rio%20ARCL OG%20vers%C3%A3o%20final.pdf>.

3. *Modelagem e Análise das Redes Logísticas (2024)*: desenvolvimento da modelagem logística das cadeias produtivas e de transporte e mensuração dos custos financeiros. Consiste na formulação e testes de modelos matemáticos, identificados os atributos relevantes, projetados os custos de investimentos e de frete e avaliado o desempenho da infraestrutura de transporte e de portos e terminais. Esta etapa é demarcada com a produção de artigos científicos e dissertações, apresentando os resultados da modelagem e ensaios prévios de redes logísticas.

4. *Análise das Redes Logísticas (2024)*: a aplicação para teste e validação dos modelos logísticos na prospecção de redes, frente à cenários econômicos e de desenvolvimento na região, com os respectivos investimentos e, apresentação da modelagem utilizada e os resultados da simulação dos cenários estudados. Ao final desta etapa, houve um seminário científico de acesso aberto pela rede LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/arclog-norte/?viewAsMember=true> para apresentar os resultados parciais e aprimorar o Relatório parcial.

5. *Formulação e Simulação Operacional das Redes Logísticas (2025)*: aplicação para teste e validação do modelo matemático e de simulação operacional da (s) alternativa (s) de redes intermodais prospectadas, frente à cenários econômicos e de desenvolvimento de região, com os respectivos investimentos. Esta etapa está prevista com produção de artigos científicos e dissertações na concepção do Modelo Estratégico.

6. *Apresentação do Modelo Estratégico (2025)*: aplicação do modelo estratégico proposto, com Teste de Sensibilidade, Investimentos e Impactos dos Projetos de Redes Propostos. Esta etapa será demarcada com a produção de artigos científicos e dissertações, apresentando os resultados do Modelo Estratégico. Ao final desta etapa, haverá um seminário científico com os atores envolvidos na questão, para apresentar os resultados e a carteiras de investimentos a serem empreendidos, direcionando o documento para a iniciativa pública e privada.

Neste Relatório Parcial estão sendo apresentados os avanços da pesquisa das etapas 3 - *Modelagem e Análise das Redes Logísticas* e etapa 4 - *Análise das Redes Logísticas*.

2.1 Abordagem Metodológica

A abordagem metodológica adotada no projeto ARCLOG NORTE visa a análise e modelagem das redes de transporte na Amazônia, considerando fatores econômicos, sociais e ambientais. A estratégia metodológica fundamenta-se na necessidade de

otimização das redes de transporte na Amazônia, considerando variáveis econômicas, ambientais e operacionais para reduzir o Custo Brasil. De maneira geral, a metodologia foi retratada no primeiro relatório do projeto, em 2023.

As etapas 3 e 4 relaciona-se com a adoção da abordagem metodológica multidisciplinar e quantitativa, proposta ainda em projeto de pesquisa, e que posta em prática em 2024 se mostrou robusta, sendo aplicadas diferentes ferramentas matemáticas, cada uma voltada para uma dimensão específica do problema logístico.

A modelagem matemática foi utilizada para estruturar as redes de transporte e simular diferentes cenários de escoamento da produção. A modelagem nestas etapas 3 e 4 incluiu:

- Formulação de redes logísticas multimodais, considerando os diferentes modos de transporte (rodoviário, ferroviário e hidroviário).
- Minimização dos custos operacionais de transporte, utilizando técnicas de Programação Linear para calcular as rotas mais eficientes.
- Análise de restrições infraestruturais, mapeando gargalos logísticos e sua influência na competitividade das rotas

O modelo adotado parte da representação espacial da rede de transporte multimodal, considerando:

- Rotas de escoamento da produção – Identificação das principais ligações entre os polos produtivos e os portos de exportação.
- Cálculo de custos logísticos – Simulações de custos de frete rodoviário, ferroviário e hidroviário com base na demanda de transporte e nas distâncias percorridas.
- Otimização do escoamento – Uso de algoritmos para determinação do caminho de menor custo ou maior eficiência, considerando as restrições infraestruturais e operacionais da região.
- Implementação do modelo utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o georreferenciamento das rotas e a integração de variáveis logísticas.

Mediante abordagem metodológica houve a combinação de técnicas de modelagem matemática, análise de *clusters*, métodos de tomada de decisão multicritério e geoprocessamento (SIG), sendo mais bem detalhadas na sequência.

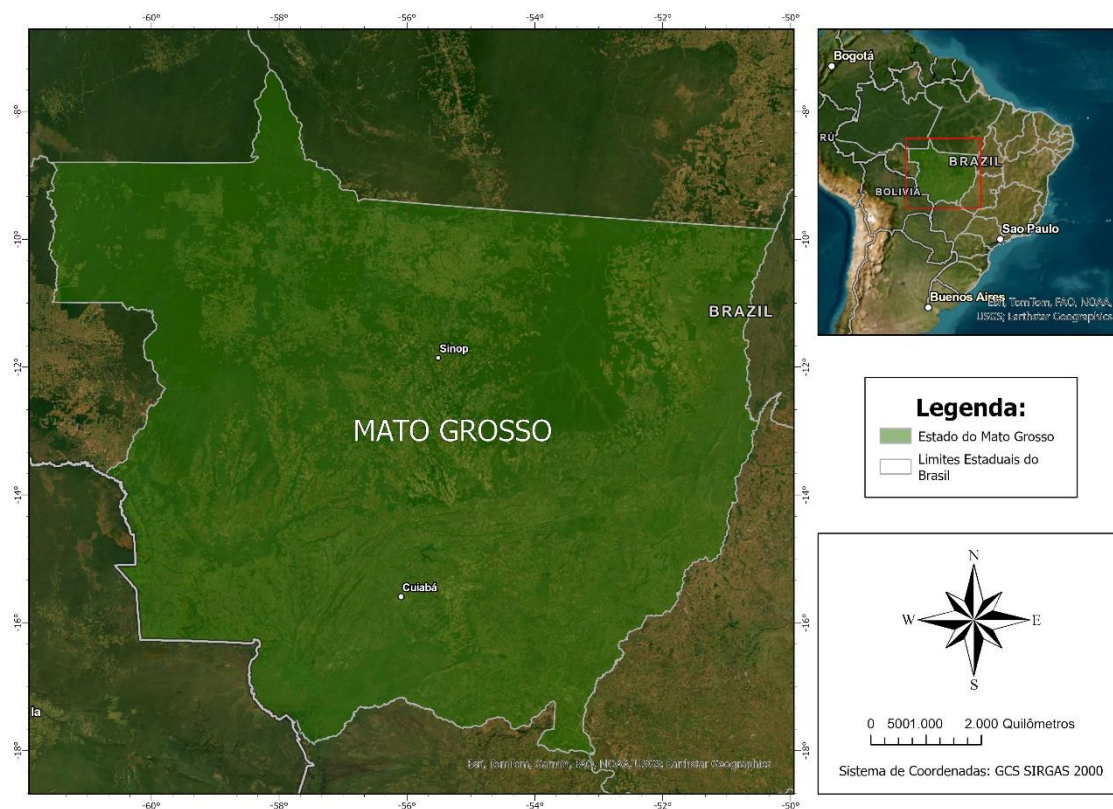
2.2 Análise de *Clusters* para Segmentação de Regiões Produtivas

Para compreender os padrões espaciais do transporte na região e segmentar os polos produtivos de forma coerente, foi utilizada a Análise de *Clusters*. Esse método estatístico permitiu agrupar regiões com características similares, facilitando a análise da demanda de transporte e a projeção de fluxos logísticos.

A aplicação da análise de *clusters* envolveu os seguintes passos:

1. Coleta de Dados – Identificação dos municípios produtores de soja e suas respectivas infraestruturas logísticas. Foram reunidas informações socioeconômicas, produtivas e logísticas dos municípios produtores de soja no Mato Grosso. Na Figura 1 encontra-se a localização do estado do Mato Grosso.

Figura 1. Localização do estado do Mato Grosso



Fonte: Adaptação dos Autores, 2024.

2. Matriz de Similaridade – Aplicação de métodos estatísticos (*Hierarchical Clustering* e K-means) para agrupar regiões com características similares. Os municípios foram comparados com base em indicadores como volume de produção, infraestrutura de transporte disponível e custos médios de escoamento.

3. Agrupamento Hierárquico – Utilização da técnica de agrupamento hierárquico para classificar as regiões produtivas em grupos distintos, permitindo identificar padrões logísticos e sugerir rotas otimizadas.

4. Definição dos Polos Logísticos – Aglomeração das principais áreas produtoras, permitindo otimizar a alocação de rotas de transporte.

Essa abordagem permitiu estabelecer uma base sólida para a modelagem de demanda, possibilitando simular diferentes cenários de transporte e identificar as rotas mais viáveis para o escoamento da produção.

2.3 Técnicas de Tomada de Decisão Multicritério (AHP-TOPSIS)

Para avaliar a competitividade das diferentes rotas de transporte e auxiliar na escolha das melhores alternativas logísticas, foi utilizada a combinação de métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). A AHP foi empregada para atribuir pesos aos critérios mais relevantes na avaliação das rotas e portos, considerando:

- Custos logísticos (frete rodoviário, ferroviário e hidroviário): com comparação dos custos de transporte por modal e infraestrutura necessária.
- Tempo de transporte (eficiência das rotas e tempo médio de deslocamento); avaliação da eficiência das rotas em termos de duração da viagem.
- Segurança e confiabilidade/regularidade das operações logísticas, modal e portuária: análise dos riscos envolvidos na movimentação da carga em diferentes modos de transporte.
- Impactos ambientais das diferentes alternativas de transporte.

Os pesos foram determinados com base na percepção dos *stakeholders* do setor logístico, que responderam a questionários estruturados para avaliação dos critérios de decisão. Após a definição dos pesos pelo AHP, o TOPSIS foi utilizado para hierarquizar as rotas e os portos, classificando-os de acordo com sua proximidade da solução ideal. O uso dos métodos permitiu:

- Comparar alternativas logísticas de forma objetiva, atribuindo pontuações normalizadas a cada rota.
- Identificar as rotas mais eficientes, considerando múltiplos critérios simultaneamente.
- Hierarquizar portos e corredores logísticos, auxiliando na definição de investimentos prioritários.

O resultado da análise AHP-TOPSIS permitiu a classificação das rotas e portos mais competitivos, servindo como base para recomendações estratégicas no projeto.

Os principais resultados obtidos são:

- Identificação das rotas mais eficientes para exportação da soja, baseadas em critérios objetivos.
- Classificação hierárquica dos portos do Arco Norte, determinando aqueles que oferecem maior vantagem competitiva.

Essa abordagem garantiu uma análise quantitativa das redes logísticas, fornecendo recomendações estratégicas para investimentos na infraestrutura de transporte da região.

2.4 Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Modelagem Logística

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi essencial para a georreferenciação das rotas e a integração de variáveis logísticas, permitindo uma análise espacial detalhada da rede de transporte. O modelo multimodal foi implementado no *software* ArcGIS, com suporte da extensão *Network Analyst*, e incluiu as seguintes etapas:

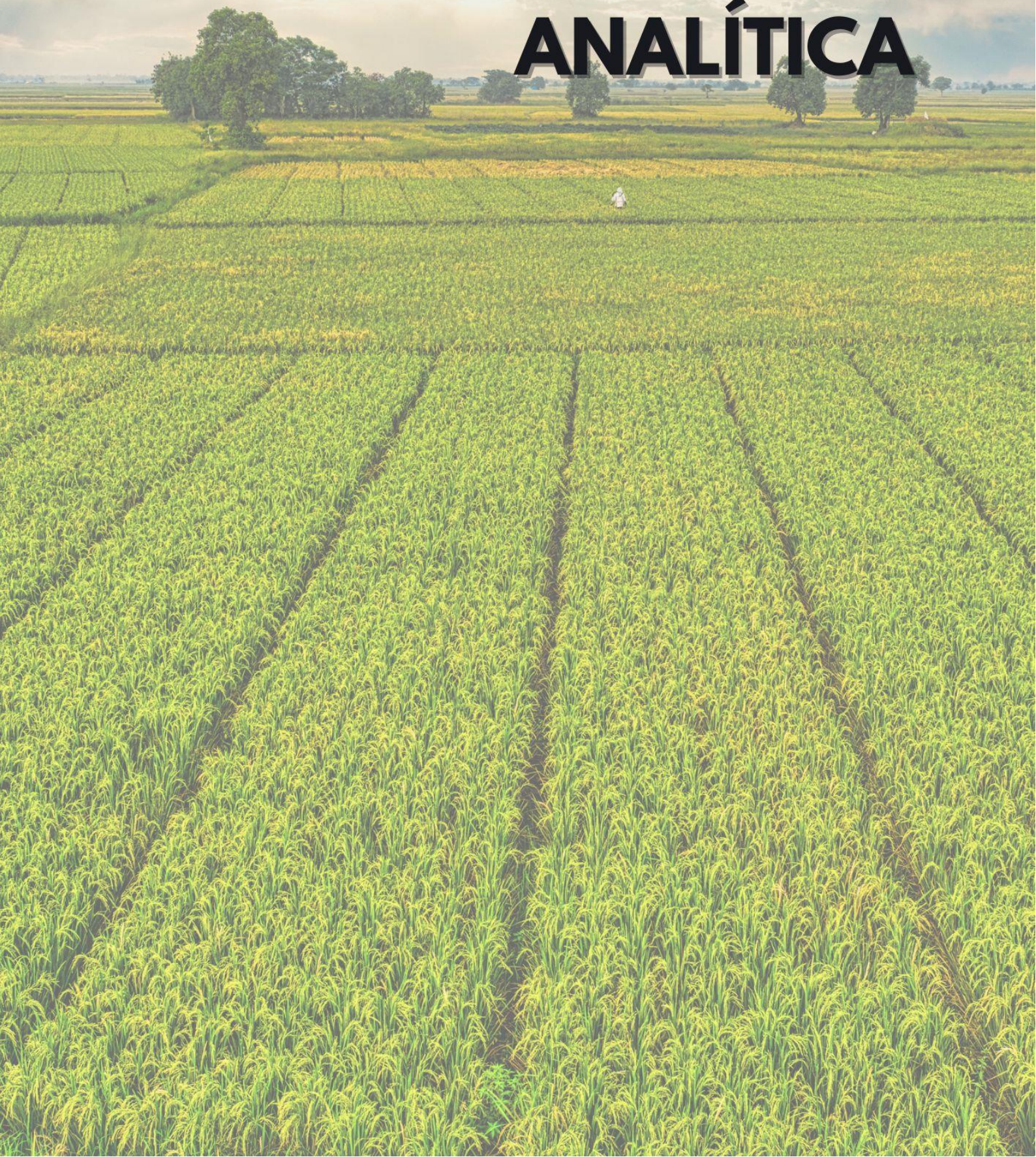
1. Coleta e organização de dados espaciais – Identificação das rotas de transporte, portos e infraestrutura logística na região do Arco Norte.
2. Construção da rede multimodal – Modelagem dos trechos rodoviários, ferroviários e hidroviários como uma rede interligada.
3. Análise de caminho mínimo – Aplicação do algoritmo Dijkstra para determinar as melhores rotas, considerando tempo de viagem e custos operacionais.
4. Simulação de cenários – Testes de impacto de novas infraestruturas, como ferrovias e melhorias nas rodovias, sobre a eficiência da rede logística.

A modelagem SIG permitiu a validação das alternativas de escoamento e a identificação de rotas mais eficientes para a exportação da soja, considerando os diferentes modais de transporte.

Em novembro de 2024, através da rede social do projeto no linkedin (<https://www.linkedin.com/company/arclog-norte/?viewAsMember=true>), foi realizado um Seminário do projeto com a apresentação e discussões sobre a base analítica de modelagem com especialistas da área e os respectivos resultados preliminares, envolvendo artigos científicos apresentados em eventos (Corrêa *et al.*, 2024; Paiva *et al.*, 2024; Tobias *et al.*, 2024a, 2024b).

Nos capítulos seguintes, serão detalhados os procedimentos de formação de banco de dados e bases analíticas, os avanços específicos, demonstrando a aplicação prática da metodologia na análise das redes logísticas do projeto, constituindo-se das Etapas 3 e 4 do projeto e, considerações finais. Por fim, as Referências e os Anexos.

FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS E DA BASE ANALÍTICA



3 FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS E DA BASE ANALÍTICA

A formação de bancos de dados e da base analítica constitui uma etapa essencial no processo de pesquisa científica, permitindo o desenvolvimento de análises confiáveis e consistentes. De fato, bancos de dados estruturados adequadamente favorecem o gerenciamento eficaz das informações, facilitando o acesso, a análise e a atualização contínua dos dados (Silberschatz, A.; Korth, H. F.; Sudarshan, S., 2021). Nesse sentido, a qualidade e integridade dos dados coletados são fundamentais para a confiabilidade dos resultados obtidos nos estudos subsequentes (Hair Jr. *et al.*, 2021).

Um banco de dados é definido como um conjunto organizado de informações, geralmente armazenadas eletronicamente, projetado para facilitar o acesso, o gerenciamento e a atualização dos dados. A qualidade e a integridade das informações armazenadas influenciam diretamente as análises subsequentes e, conseqüentemente, as conclusões da pesquisa. A pesquisa de campo, por outro lado, envolve a coleta direta de dados junto à realidade estudada, permitindo ao pesquisador observar, interagir e coletar informações *in loco* (Gil, 2022). Diversos métodos podem ser empregados neste contexto, tais como *surveys*, entrevistas, observação participante e não participante, entre outros.

No contexto das pesquisas empíricas, especialmente aquelas que envolvem a análise de fenômenos sociais, econômicos e ambientais complexos, como é o caso do projeto ARCLOG NORTE, é comum o uso combinado de dados primários e secundários. A pesquisa de campo, que consiste na coleta direta de informações no ambiente natural onde os fenômenos ocorrem, é frequentemente utilizada para complementar e validar os dados secundários, proporcionando maior robustez à análise (Gil, 2022).

Entre as diversas técnicas disponíveis para coleta de dados primários, os *surveys* destacam-se por sua capacidade de captar um grande volume de informações estruturadas por meio de questionários padronizados aplicados a uma amostra representativa da população estudada (Babie, 2021). Além disso, essa técnica possibilita abordagens variadas, tais como aplicação presencial, telefônica ou *online*, adaptando-se às particularidades e limitações específicas de cada estudo (Malhotra N.; Nunan D.; Birks D., 2020).

Dessa forma, a estratégia adotada neste projeto fundamenta-se na seleção cuidadosa das técnicas mais apropriadas, de acordo com as particularidades da região Amazônica e os objetivos da pesquisa, integrando métodos quantitativos e qualitativos que assegurem uma base analítica sólida e multidimensional (Creswell, J.W.; Creswell, J. D., 2021).

Portanto, o objetivo deste capítulo é apresentar, de forma introdutória, os principais conceitos, metodologias e técnicas empregados na formação de bancos de dados e na realização de pesquisas de campo, destacando a importância dessa etapa para o desenvolvimento robusto e confiável de estudos empíricos.

3.1 Estratégia de Levantamento de Dados

Dado o caráter interdisciplinar e a complexidade temática do projeto ARCLOG NORTE, definiu-se uma estratégia de levantamento de dados condizente com a amplitude das questões econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas envolvidas na pesquisa. Essa abordagem decorre diretamente da natureza do projeto, que requer uma base analítica robusta, capaz de sustentar análises complexas e fornecer resultados sólidos para subsidiar decisões estratégicas e operacionais relativas ao desenvolvimento logístico e sustentável do Arco Amazônico.

A escolha da metodologia adotada para formação do banco de dados foi orientada pela necessidade de contemplar múltiplas dimensões analíticas, conforme detalhado na metodologia proposta. Considerando as particularidades regionais e os objetivos específicos do projeto — tais como a análise de competitividade logística, a otimização dos fluxos de transporte, a redução dos custos operacionais e a mitigação do impacto ambiental — optou-se por um levantamento híbrido, combinando fontes primárias e secundárias, estruturado da seguinte forma:

a) *Fontes Secundárias*: inicialmente, realizou-se uma extensa revisão bibliográfica e documental visando consolidar informações já existentes sobre a região. Foram consultados relatórios técnicos governamentais, estudos acadêmicos prévios, bases estatísticas oficiais e dados disponibilizados por entidades públicas e privadas sobre demografia, infraestrutura de transporte, políticas públicas regionais, economia local e tecnologias utilizadas nos diferentes modais logísticos.

b) *Fontes Primárias*: paralelamente, efetuou-se pesquisa de campo através da realização de levantamentos diretos, incluindo entrevistas estruturadas com gestores logísticos e stakeholders, aplicação de questionários junto aos operadores do setor logístico e transportadores da região amazônica e, reuniões técnicas com representantes das empresas parceiras do projeto. Este método permitiu reunir dados específicos e atualizados sobre custos operacionais reais, particularidades logísticas regionais, dinâmica de fluxos de carga e passageiros, além de percepções práticas sobre restrições e oportunidades locais.

Complementando as abordagens mencionadas, o projeto utilizou intensivamente ferramentas digitais e tecnológicas, destacando-se o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mais especificamente o *software* ArcGIS, para o mapeamento georreferenciado da infraestrutura logística existente e da dinâmica produtiva regional. Este componente tecnológico garantiu precisão e detalhamento espacial na constituição do banco de dados.

Assim, o banco de dados resultante integra variáveis quantitativas e qualitativas que serão utilizadas em etapas posteriores para a construção de modelos analíticos robustos, tais como modelos matemáticos de otimização, simulações logísticas e análises multicritério. A natureza metodológica adotada não apenas atende às necessidades analíticas do projeto, mas também amplia a capacidade de gerar resultados aplicáveis à realidade amazônica, capazes de subsidiar políticas públicas, decisões empresariais e pesquisas acadêmicas futuras.

Dessa forma, a estratégia de levantamento de dados adotada constitui um pilar essencial para assegurar o rigor científico e a aplicabilidade prática dos resultados alcançados pelo projeto ARCLOG NORTE. Por fim, os dados coletados foram organizados em uma base analítica integrada, preparada para apoiar as etapas subsequentes de modelagem matemática, análise multivariada e aplicação de técnicas avançadas, como simulações de cenários e métodos multicritério, assegurando robustez e coerência à pesquisa desenvolvida.

3.2 Pesquisa Documental

Para a realização do estudo, foi conduzida uma ampla pesquisa bibliográfica e documental, com utilização intensiva de dados secundários provenientes de diversas fontes institucionais reconhecidas, que permitiram constituir uma base robusta para as análises subsequentes. Nesse contexto, foram consultadas:

- Bases de dados públicas, em especial as disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Atlas Brasil. Essas bases forneceram informações atualizadas sobre área territorial, produção agrícola municipal, Produto Interno Bruto (PIB) por município, população residente, emprego e índices de desenvolvimento humano (IDH), essenciais para caracterizar as regiões estudadas.

- Estudos técnicos financiados por instituições como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que forneceram subsídios técnicos fundamentais para a avaliação das infraestruturas e viabilidade de investimentos propostos para o transporte multimodal na Amazônia.
- Relatórios e artigos científicos específicos sobre infraestrutura de transporte e logística na Amazônia, focados especialmente no contexto regional e nas particularidades da cadeia logística relacionada ao transporte da soja, publicados em congressos, periódicos científicos e relatórios técnicos institucionais.
- Planos governamentais, como o Plano Nacional de Logística 2035 e documentos complementares de planejamento estratégico, fundamentais para a identificação das intervenções projetadas e cenários futuros que nortearam as simulações realizadas neste estudo.

Adicionalmente, foram consultadas bases específicas detalhadas, como o SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), que forneceu dados como produção de soja, PIB a preços correntes e valor da produção extrativa vegetal. Também, foram obtidas informações da plataforma INFRASA referentes à densidade de tráfego de carga prevista no PNL2035 e diversas estatísticas sociais e econômicas extraídas do Atlas Brasil, tais como participação da agropecuária, indústria, serviços e administração pública no valor adicionado bruto, índice de desenvolvimento humano municipal, índice Theil-L de distribuição de renda, percentual de cobertura vegetal natural e concentração dos focos de calor.

A consulta às fontes foi organizada em uma base estruturada, conforme detalhado no Quadro 1, indicando-se claramente os links para acesso direto às informações. Essa organização permitiu integrar e cruzar informações de diversas naturezas (econômicas, sociais, ambientais e técnicas), garantindo a robustez analítica das análises posteriores e permitindo uma compreensão integrada das variáveis que influenciam na competitividade logística e na eficiência das redes de transporte analisadas.

Os dados assim obtidos e sistematizados forneceram uma base sólida e confiável, garantindo o rigor científico e fortalecendo as conclusões do projeto ARCLOG NORTE. O Quadro 1 sintetiza os links consultados.

Quadro 1: Fontes Secundárias Consultadas

FONTES	VARIAVEL	LINK
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@: panorama dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.	ÁREA TERRITORIAL (km ²) 2022	https://cidades.ibge.gov.br/
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.	PRODUÇÃO DE SOJA (TON) DE 2021	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=34923&t=resultados
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto dos Municípios. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.	PRODUTO INTERNO BRUTO A PREÇOS CORRENTES (R\$ 1.000)	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=downloads
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto (PIB) per capita. In: Anuário Estatístico do Brasil 2023 – Contas Nacionais. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.	PIB per capita - R\$/habitante	https://anuario.ibge.gov.br/2023/agregados-macroeconomicos/contas-nacionais/aeb-2023-tabelas-contas-nacionais/22298-pib-per-capita.html
INFRASA (2024). Observatório Nacional de Transporte e Logística. Plano Nacional de Logística 2035 – Cenário Base – Panorama 2017. Disponível em: https://www.infrasa.gov.br/ontl/planejamento/shapefiles/ .	TKU por km ² - Densidade de tráfego de carga - PNL2035 - cenário Base 2017	https://www.infrasa.gov.br/ontl/planejamento/shapefiles/ .
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.	População Residente - PESSOAS - 2021	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html
BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2021. Brasília: MTE, 2022.	EMPREGO - PESSOAS 2021	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. (2024) Altas de Desenvolvimento Humano no Brasil.	Índice de desenvolvimento Humano Municipal (IBGE) – 2010	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha .
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.	ÁREA PLANTADA- HECTARES 2021	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=34923&t=resultados
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.	Valor da produção extrativa vegetal (R\$ 1.000) - 2022	https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q
BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2021. Brasília: MTE, 2022.	EMPREGOS NA INDUSTRIA- PESSOAS 2021	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2021. Brasília: MTE, 2022.	EMPREGOS NO COMERCIO- PESSOAS	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha

Continuação Quadro 1

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2021. Brasília: MTE, 2022.	EMPREGOS EM SERVIÇOS-PESSOAS	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
BRASIL. Secretaria do Tesouro Nacional. Finanças do Brasil – Dados Contábeis dos Municípios – FINBRA. Brasília: STN, 2021.	RECEITA ORÇAMENTARIA DOS MUNICIPIOS (MILHOES) 2021	https://www.gov.br/tesouronacional/pt-br/estados-e-municipios/dados-consolidados/finbra-financas-municipais
BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Estatísticas do Censo Escolar. Brasília: INEP, 2023.	VAGAS OCUPADAS NA ESCOLA (Matrícula)	https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/estatisticas-censo-escolar
BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Estatísticas do Censo Escolar. Brasília: INEP, 2023.	EMPREGOS NO ENSINO - PESSOAS	https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/estatisticas-censo-escolar
BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Estatísticas do Censo Escolar. Brasília: INEP, 2023.	ESTABELECIMENTO DE ENSINO BASICO-UNIDADE	https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/estatisticas-censo-escolar
Atlas Brasil. Altas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação da Agropecuária no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Altas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação da Indústria no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Altas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação dos Serviços no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Altas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação da Administração Pública no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
IMEA. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Preços de Frete de Grãos, Fertilizante e Farelo (2024)	Frete (R\$/ton) para soja (APENAS P/ MUNICIPIOS MATO GROSSO)	https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado
IMEA. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Preços de Frete de Grãos, Fertilizante e Farelo (2024)	Custo de produção de soja (APENAS P/ MUNICIPIOS MATO GROSSO)	https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado
MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Fazenda. Demonstrativo da arrecadação do IPVA por município e região fiscal no exercício de 2024 – Regime de Caixa. Cuiabá: SEFAZ-MT, 2024.	IPVA por município (MATO GROSSO)	https://www5.sefaz.mt.gov.br/
SIDRA, 2022	Produção de Soja, ton	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457
SIDRA, 2021	Produto Interno Bruto a preços correntes, R\$	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938
IBGE, 2021	População Residente; hab	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html
IBGE, 2021	PIB per capita- R\$/hab	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html
SIDRA, 2022	Valor da produção extrativa vegetal, R\$	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289

Continuação Quadro 1

IBGE, 2021	Área territorial, km ²	https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=1
INFRASA, 2017	Densidade de tráfego de carga - PNL2035, TKU por km ²	https://ontl.infrasa.gov.br/planejamento/plano-nacional-de-logistica/plano-nacional-de-logistica-2035/shapefiles/
Atlas Brasil, 2016	Participação da Agropecuária no Valor Adicionado Bruto, R\$	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2016	Participação da Indústria no Valor Adicionado Bruto, R\$	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2016	Participação dos Serviços no Valor Adicionado Bruto, R\$	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2016	Participação da Administração Pública no Valor Adicionado Bruto, R\$	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2010	Índice de desenvolvimento Humano Municipal	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2010	Índice Theil-L - Medida de distribuição de Renda	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2017	Percentual de cobertura vegetal natural, %	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil, 2017	Concentração dos focos de calor (valor normalizado - Brasil = 1000), %	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha

Fonte: Compilação de banco de dados secundários elaborada pelos Autores, 2024.

3.3 Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo foi uma etapa fundamental do projeto ARCLOG NORTE, permitindo a validação dos dados documentais e a obtenção de informações complementares diretamente com os *stakeholders* do setor logístico. Essa etapa envolveu visitas técnicas a infraestruturas logísticas estratégicas e entrevistas com operadores do setor, fornecendo insumos valiosos para análise dos gargalos e oportunidades de melhoria na logística de transporte na Amazônia.

a) Visitas Técnicas

Foram realizadas visitas técnicas a diferentes pontos da cadeia logística, abrangendo terminais portuários, áreas de produção agrícola, rodovias e hidrovias estratégicas. Os principais locais visitados incluem:

- **Porto de Miritituba (Itaituba, PA)** – Inspeção das operações portuárias, incluindo o carregamento e descarregamento de cargas agrícolas para transporte hidroviário.

- **Terminais de Santarém (PA)** – Avaliação da infraestrutura logística e da capacidade operacional para escoamento da produção agrícola.
- **Rodovia BR-163 e BR-364** – Observação das condições da infraestrutura viária e sua influência na eficiência do transporte de carga.
- **Planta de beneficiamento de grãos em Sorriso (MT)** – Visita a unidades de armazenagem e processamento de soja para análise da integração modal rodoviário-hidroviário.

Os objetivos atingidos nas visitas foram:

- Avaliação da capacidade operacional dos terminais logísticos.
- Identificação dos desafios enfrentados no escoamento da produção agrícola.
- Análise das condições de infraestrutura e transporte multimodal.

As principais observações incluíram a necessidade de melhorias em infraestrutura portuária, otimização dos fluxos de carga e aprimoramento da segurança e eficiência nas rotas analisadas.

Tem-se na Figura 2 algumas imagens da viagem realizada pelo grupo de pesquisa em março de 2024.

Figura 2. Vistas Técnicas e Reuniões com *stakeholders*



1a) Visita à Sorriso- Cooperativa Coacen

2b) Visita à Itaituba - Cargil



3c) Reunião na Aprosoja- Cuiabá/MT

2d) Expedição às lavouras de soja no Mato Grosso

Fonte: Autores, 2024.

b) Entrevistas com Stakeholders

Foram conduzidas entrevistas com diferentes perfis de stakeholders, incluindo:

- Operadores logísticos e gestores portuários – Avaliação da capacidade operacional e dos desafios no escoamento da produção.
- Transportadores rodoviários e hidroviários – Levantamento sobre custos, tempos de trânsito e gargalos na infraestrutura.
- Produtores agrícolas – Discussão sobre a viabilidade das rotas e impactos logísticos nos custos de produção.

Os principais tópicos abordados nas entrevistas incluíram:

- Viabilidade das rotas logísticas – Identificação das melhores opções de transporte considerando custos e tempo de trânsito.
- Infraestrutura crítica e gargalos – Problemas como a precariedade das rodovias e limitações na capacidade portuária.
- Oportunidades de melhoria – Propostas para otimização do escoamento da produção e sugestões para políticas públicas.

A síntese dos principais achados da pesquisa de campo indicou que a integração dos modais rodoviário e hidroviário, ainda, apresenta desafios estruturais, mas há potencial para maior eficiência logística com investimentos estratégicos. Além disso, a necessidade de melhorias na segurança e na confiabilidade do transporte foi um ponto recorrente nos depoimentos dos entrevistados.

A pesquisa de campo, também, incluiu a coleta de dados para embasar os trabalhos acadêmicos e técnicos relacionados ao projeto. Estudos prévios e investigações realizadas *in loco* foram fundamentais para consolidar a base analítica do ARCLOG NORTE e para subsídio aos dados necessários para a realização dos artigos científicos gerados no período de 2024. Destacam-se:

- Aplicação de técnicas estatísticas para compreender a relação entre produção agrícola e desenvolvimento regional, utilizando dados de produção de soja, PIB per capita, densidade de tráfego de carga e indicadores ambientais (Paiva *et al.*, 2024).

- Coleta de dados por meio de questionários aplicados a *stakeholders* da logística de soja em Sorriso, Mato Grosso, para avaliar os critérios críticos na decisão de rotas (Tobias *et al.*, 2024a).

- Pesquisa de campo realizada em Março de 2024 na região de produção de soja, incluindo entrevistas e coleta de documentos sobre a infraestrutura e desafios logísticos do escoamento (Tobias *et al.*, 2024b).

– Levantamento de informações diretamente com *stakeholders* em Sorriso e na região portuária do Pará, analisando os fatores que influenciam na competitividade das rotas (Corrêa *et al.*, 2024).

Os dados coletados por meio dessas pesquisas foram fundamentais para embasar as análises desenvolvidas no projeto, permitindo uma abordagem mais precisa e integrada da logística de escoamento da produção agrícola na Amazônia. Essas informações forneceram subsídios técnicos e práticos para a formulação de recomendações voltadas à melhoria da infraestrutura e ao aprimoramento das operações logísticas na região.

3.4 Estruturação e Validação do Banco de Dados

A validação dos dados coletados ao longo da pesquisa de campo foi conduzida por meio de duas estratégias complementares: a apresentação pública em um webinar de acesso aberto e a consulta direta aos stakeholders envolvidos no setor logístico. Esses procedimentos garantiram que as informações levantadas fossem discutidas, refinadas e confirmadas por especialistas e profissionais atuantes na área.

a) Validação através de Webinar Público

Os principais achados da pesquisa foram apresentados e debatidos no *webinar* “Infraestrutura Logística e Competitividade no Arco Norte”, realizado em 2024. O evento ocorreu em rede social aberta (na página do projeto no *linkedin*) e contou com a participação de pesquisadores, operadores logísticos, produtores agrícolas e representantes do setor portuário. Durante o encontro, os resultados da pesquisa foram expostos e submetidos a questionamentos e comentários dos participantes, permitindo ajustes e refinamentos nas análises realizadas. O registro do webinar pode ser acessado através do link: https://www.linkedin.com/posts/arclog-norte_em-continuidade-as-postagens-sobre-o-que-activity-7267216440255021056-HA9M?utm_source=share&utm_medium=member_ios&rcm=ACoAADQoPCkBf3X-fgcqgBeXiXcOKWUv1YvqGeQ.

b) Consulta Direta aos Stakeholders

Além da apresentação pública, foram realizadas consultas diretas a *stakeholders*-chave para validar as informações coletadas. Essas consultas incluíram entrevistas individuais e reuniões técnicas com:

- **Gestores portuários e operadores logísticos**, para avaliação da precisão dos dados de movimentação e capacidade operacional;
- **Transportadores e representantes de associações do setor**, para confirmação dos custos logísticos, tempos de trânsito e gargalos identificados;
- **Produtores agrícolas**, para validar os impactos da infraestrutura logística na viabilidade das rotas utilizadas.

A metodologia empregada nessas consultas garantiu que os dados coletados refletissem com precisão a realidade do setor logístico da Amazônia e que estivessem alinhados às percepções e necessidades dos agentes envolvidos no escoamento da produção agrícola.

Dessa forma, a validação pública e a participação dos stakeholders asseguraram a credibilidade das informações levantadas, permitindo avançar na pesquisa com dados que servissem de base para futuras ações estratégicas e formulação de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura logística da região.

MODELO DE DEMANDA E ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 3



4 MODELO DE DEMANDA E ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 3

A logística do escoamento da soja no estado do Mato Grosso tem sido um desafio estratégico para o agronegócio brasileiro, dada a necessidade de reduzir custos e otimizar a infraestrutura de transporte (De Araújo; Becker, 2011). Nesta etapa da pesquisa, buscou-se compreender como as características socioeconômicas e infraestruturais dos municípios produtores influenciam a dinâmica logística, além de estruturar um modelo de apoio à decisão para a seleção das rotas mais eficientes. Para isso, foram utilizadas as técnicas de análise multivariada, segmentação territorial e modelagem matemática dos critérios de competitividade das rotas.

Duas abordagens principais foram adotadas: (i) *análise multivariada para segmentação dos municípios produtores de soja*, permitindo a identificação de padrões de desenvolvimento e suas relações com a logística; (ii) *aplicação do método AHP para atribuir pesos aos critérios decisórios na escolha das rotas logísticas*, considerando variáveis como custo, tempo de transporte, confiabilidade e segurança.

4.1 Análise Multivariada e Segmentação dos Municípios Produtores

O primeiro estudo desta etapa concentrou-se na segmentação dos municípios produtores de soja no Mato Grosso, com o objetivo de entender a relação entre infraestrutura, economia e logística de escoamento da produção agrícola. Para isso, foram aplicadas técnicas de Análise de Componentes Principais (Mingoti, 2005) (conhecida como *Principal Component Analysis - PCA*) e de *Clusterização Hierárquica (Two-Step Cluster)*, (IBM, 2023), utilizando dados socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura obtidos de bases de dados secundários.

O procedimento metodológico teve os seguintes passos básicos:

1. Pré-processamento dos dados: avaliação da sensibilidade dos indicadores, aplicando testes estatísticos para identificar diferenças significativas nos municípios entre 2010 e 2022.
2. Redução da dimensionalidade: aplicação de análise de correlação e PCA preliminar para excluir variáveis redundantes ou irrelevantes.
3. Agrupamento de municípios: uso do método *Two-Step Cluster* para segmentar os municípios em grupos distintos, considerando suas características ambientais, socioeconômicas, produtivas e logísticas.

4. Combinação de análise de grupos e PCA para identificação da relação entre indicadores, interpretação das componentes principais e representação gráfica dos perfis de indicadores de desempenho dos municípios.

Os resultados da aplicação da análise multivariada foram apresentados em Paiva *et. al.* (2024) e reproduzidos a seguir.

Entre o período de 2010 a 2022 o estudo identificou o crescimento médio de 58% da produção de soja; crescimento médio de 32% da população; crescimento médio 142% do PIB per capita; redução média de 77% do custo de produção de soja e redução média de 54% do valor de produção de extrativismo vegetal.

Através das 15 variáveis apresentadas no Quadro 2 aplicou-se a análise de *cluster* para dividir os municípios em dois grupos. O primeiro grupo é caracterizado por ter indicadores socioeconômicos melhores, e reúne 43 dos 75 municípios observados. Apesar de o primeiro grupo ter uma produção de soja maior, a participação do setor agropecuário no Valor Adicionado Bruto (VABAgro) médio é de 35,7%, enquanto o segundo grupo apresenta um VABAgro de 46,6%.

Quadro 2. Variáveis selecionadas

Código	Variável	Fonte
ProdSoja	Produção de soja (ton)	IBGE 2021/produção
PIB	Produto Interno Bruto a preços correntes (R\$ 1.000)	IBGE 2021
Pop	População residente - habitantes	IBGE 2022
PIB_p	Produto Interno Bruto per capita (R\$)	IBGE 2021
VPrExVeg	Valor de produção extrativa vegetal (R\$ 1.000)	IBGE 2022
AreaTerr	Área Territorial (km ²)	IBGE 2022
TKUpArea	Densidade de tráfego de carga - PNL 2035 - cenário Base 2017 (TKU/km ²)	INFRASA
VAB16Agro	Participação da Agropecuária no Valor Adicionado 2016	Atlas Brasil
VAB16Ind	Participação da Indústria no Valor Adicionado 2016	Atlas Brasil
VAB16serv	Participação dos Serviços no Valor Adicionado 2016	Atlas Brasil
VAB16Adm	Participação da Administração Pública no Valor Adicionado 2016	Atlas Brasil
IDHM2010	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	Atlas Brasil
Theil-L2010	Índice Theil-L - Medida de distribuição de Renda	Atlas Brasil
CVN17	Percentual de cobertura vegetal natural 2017	Atlas Brasil
FC17	Concentração dos focos de calor 2017	Atlas Brasil

Fonte: Paiva, *et. al.* 2024

A análise de PCA limitou-se aos cinco primeiros componentes principais, gerados, que representam 79,2% da variância dos indicadores da amostra de 75 municípios. A

partir dos autovetores calculados no PCA aplica-se o agrupamento hierárquico das variáveis (Figura 3).

A Figura 4 ilustra um dos planos de correlações das variáveis com os dois primeiros componentes principais (CP) que representam 44,1% da variação dos dados (CP1-24,3%; CP2-19,8%, CP3-15,6%; CP4-10,7%; CP5-8,8%). A partir dessa figura é possível inferir que neste plano de componentes há um predomínio das variáveis econômicas e demográficas que constituem os grupos C3 e C4 (Figura 3). No centro da Figura 4 estão concentradas as variáveis menos relevantes neste plano, mas que terão destaque nos demais componentes associados às dimensões ambiental (grupo C1 – CP3), e social (Grupo C2 – CP5), e de Infraestrutura (TKUpArea - CP4).

Figura 3. Agrupamento hierárquico de variáveis baseado na técnica PCA para os 75 municípios da área de estudo

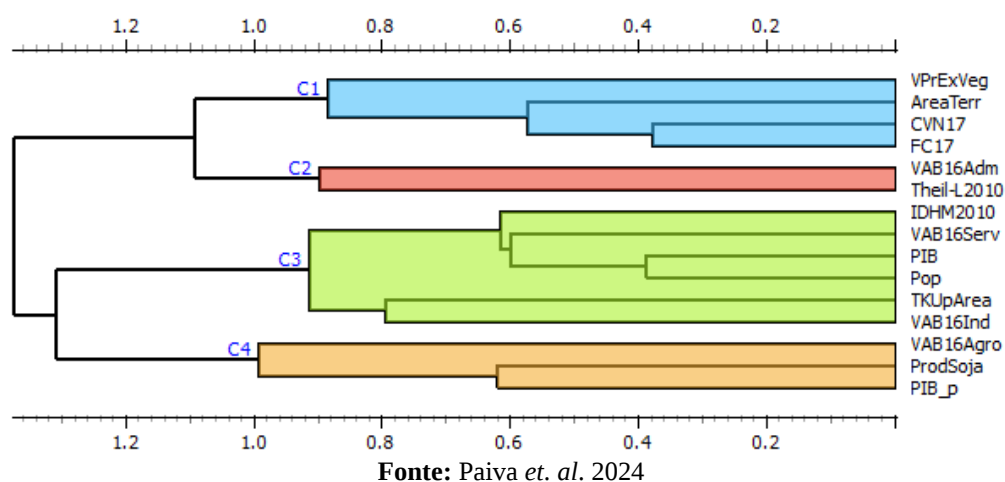
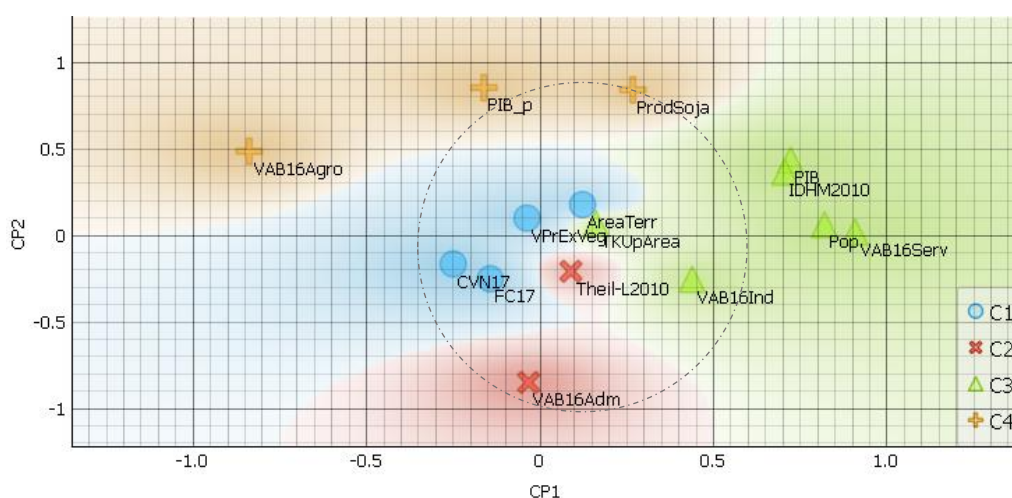
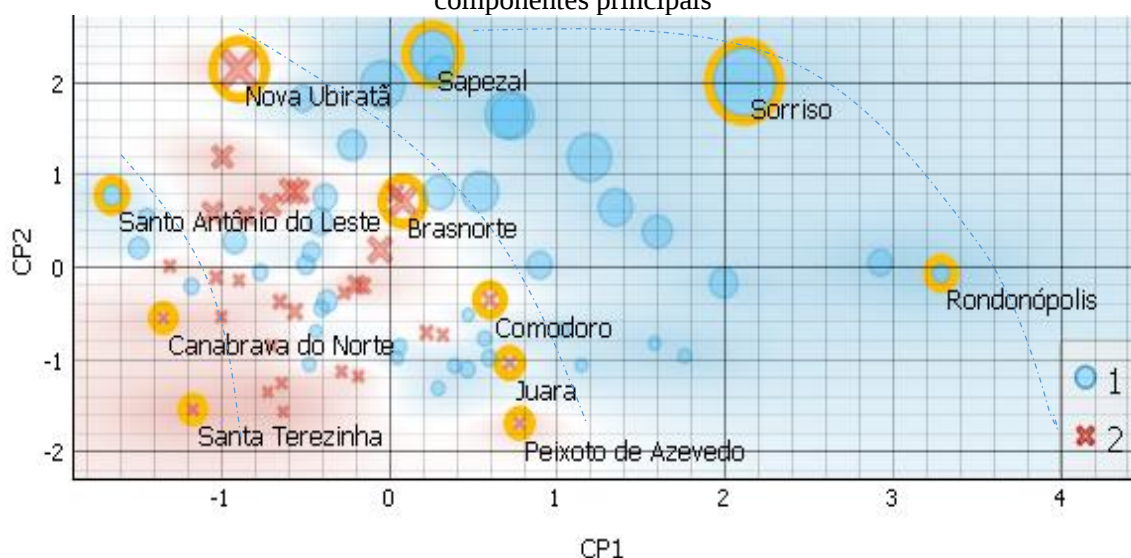


Figura 4. Correlação entre grupos de variáveis e componentes principais



Após a redução da dimensionalidade das variáveis, tem-se na Figura 5 a localização dos grupos de municípios nos planos econômicos. O tamanho das marcas denota a escala de sua produção de soja. A partir do score de cada município nas componentes econômicas (CP1 e CP2) observa-se uma envoltória superior de municípios do grupo 1 e outra no grupo 2 que maximiza seus indicadores econômicos constituindo *benchmarks* para a região estudada em seus subgrupos.

Figura 5. Relação entre agrupamentos de municípios (destacados pela produção de soja) e componentes principais



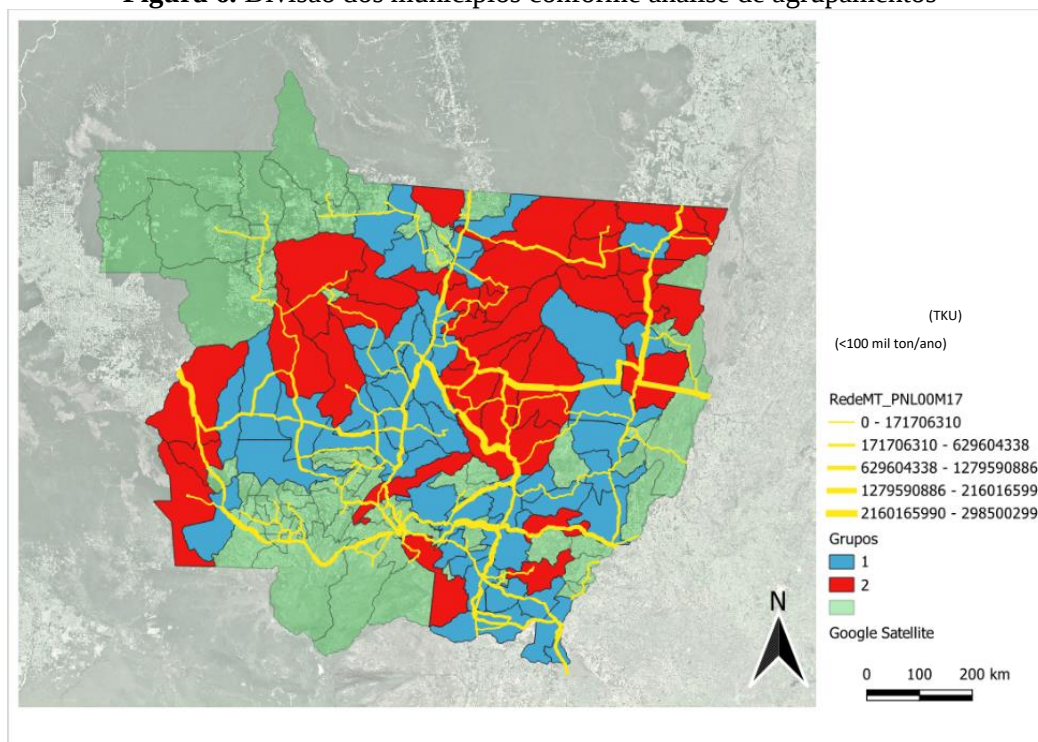
Fonte: Paiva et. al. 2024

A orientação das envoltórias é baseada na análise prévia das diferenças dos grupos que indicou que a região azul (Grupo1) é a mais desenvolvida. Logo, os municípios de Sapezal, Sorriso e Rondonópolis no grupo 1 e Nova Ubiratã, Brasnorte, Comodoro, Juara e Peixoto de Azevedo no grupo 2 possuem perfis econômicos diferentes, mas com diferentes estratégias superaram os demais municípios em seus respectivos grupos (neste plano), sugerindo diferentes caminhos de desenvolvimento para os demais municípios. Por outro lado, também é possível observar uma envoltória inferior formada pelos municípios Santo Antônio do Leste (Grupo 1) e Canabrava do Norte e Santa Terezinha (Grupo 2) que tem os piores resultados no plano econômico, mas a partir dos pontos próximos é possível inferir algumas tendências para eles.

A Figura 6 mostra em mapa a localização dos referidos municípios, que denota a proximidade e a formação de aglomerados, *clusters* de produção de soja no Mato Grosso, estando tais municípios na lista dos 10 maiores produtores de soja do país.

Na Tabela 1 tem-se a apresentação das características médias de cada cluster identificado na análise hierárquica, para comparar as diferenças estruturais entre os municípios classificados em diferentes grupos.

Figura 6. Divisão dos municípios conforme análise de agrupamentos



Fonte: Autores, 2024

Tabela 1. Caracterização dos Clusters Identificados na Segmentação

Cluster	Municípios Representativos	PIB Agropecuário Médio (R\$ milhões)	Infraestrutura Rodoviária (km pavimentados)	Produção de Soja (mil toneladas)
1 - Infraestrutura consolidada	Sorriso, Rondonópolis, Lucas do Rio Verde	1.200	1.500	5.500
2 - Crescimento logístico limitado	Nova Ubiratã, Comodoro, Peixoto de Azevedo	750	700	2.800

Fonte: Autores, 2024

Os resultados apontaram para a formação de dois *clusters* principais:

- *Cluster 1* - Municípios com infraestrutura consolidada e alta produção agrícola: Representado por municípios como Sorriso, Rondonópolis e Lucas do Rio Verde, que possuem acesso a múltiplos modais de transporte e maior desenvolvimento econômico.

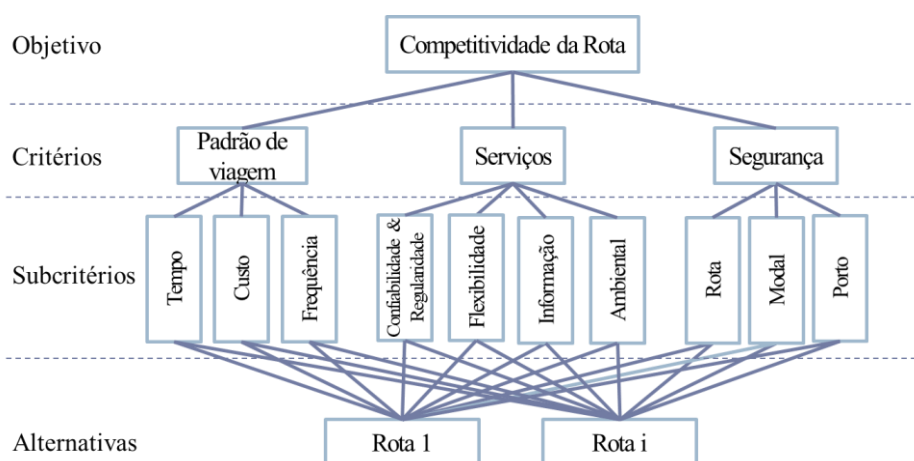
- *Cluster 2* - Municípios em crescimento, mas com infraestrutura precária: Inclui localidades como Nova Ubatã, Comodoro e Peixoto de Azevedo, que enfrentam desafios logísticos, como estradas não pavimentadas e dependência do modal rodoviário.

A multiplicidade de contextos dos municípios estudados demonstra que não há um único fator que explica sua evolução ou caminho a ser seguido. A expansão da cultura da soja é um norteador no desenvolvimento da maioria dos municípios da região estudada. A diferença entre os dois grupos demonstra isso, mas também revela um processo. O setor primário gera riqueza, que atrai população, que gera demanda local para o crescimento de outros setores produtivos elevando a região para um novo patamar e estrutura econômica. Há cinco eixos, três específicos representando as variáveis ambientais, sociais e a infraestrutura, mas a economia configura-se como um plano no qual os municípios seguem uma trajetória curva, transformando sua matriz econômica ao longo do tempo.

4.2 Atribuição de Pesos aos Critérios Logísticos: Aplicação do AHP

Com a segmentação dos municípios definida, foi necessário avaliar como diferentes critérios influenciam a escolha das rotas logísticas para o escoamento da soja. Para isso, utilizou-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), amplamente empregado para tomada de decisão multicritério (Araujo *et al.*, 2023; Menon; Ravi, 2022). Na Figura 7 tem-se a representação da estrutura decisória aplicada pelo método AHP, que mostra a organização dos critérios e subcritérios considerados na escolha das rotas logísticas, através de um diagrama de árvore com os critérios principais e suas subdivisões.

Figura 7. Estrutura hierárquica de decisão da escolha de rotas de soja.



Fonte: Corrêa *et al.*, 2024.

A pesquisa envolveu a coleta de dados a partir de questionário aplicado a tomadores de decisão no setor logístico, operadores de transporte e produtores agrícolas, que está no ANEXO I. A estrutura hierárquica estabelecida considerou três grandes grupos de critérios:

1. Padrão de Viagem: Inclui variáveis como tempo total de transporte, custo de frete e frequência de operação.
2. Serviços Logísticos: Abrange confiabilidade, flexibilidade e disponibilidade de informações sobre a carga.
3. Segurança Operacional: Considera a segurança da rota, do modal de transporte e dos terminais portuários.

Na Tabela 3 tem-se a relação dos critérios e subcritérios utilizados para avaliação das rotas logísticas, com as suas dimensões descritivas. Cada critério foi avaliado por meio de matrizes de comparação pareada para os critérios logísticos admitidos e a matriz dos valores comparativos entre os critérios logísticos com base na escala de Saaty (1 a 9) apresentada na Tabela 4. Por fim, na Tabela 5 tem-se os pesos finais obtidos, após o processamento da matriz de comparação pareada no AHP e, um ranking quantitativo dos critérios logísticos na escolha da melhor rota.

Tabela 3. Critérios e Subcritérios Considerados no Modelo AHP

Critério Principal	Subcritério	Descrição
Custo Logístico	Frete Rodoviário	Valor médio do transporte rodoviário por tonelada/km
Custo Logístico	Taxas Rodoviárias	Tarifas cobradas para exportação nos terminais portuários
Tempo de Transporte	Velocidade Média	Tempo médio de deslocamento da carga entre origem e destino
Tempo de Transporte	Tempo de Espera em Portos	Tempo médio de espera antes do embarque no terminal
Confiabilidade	Frequência de Transportes	Regularidade dos embarques no modal considerado
Segurança Operacional	Riscos Rodoviários	Ocorrência de acidentes ou interdições ao longo da rota

Fonte: Autores, 2024

Tabela 4. Matriz de Comparação Pareada do AHP para Critérios Logísticos

Critério	Custo Logístico	Tempo de Transporte	Confiabilidade	Segurança Operacional
Custo Logístico	1.00	2.00	4.00	6.00
Tempo de Transporte	0.50	1.00	3.00	5.00
Confiabilidade	0.25	0.33	1.00	2.00
Segurança Operacional	0.17	0.20	0.50	1.00

Fonte: Autores, 2024

Tabela 5. Pesos Normalizados dos Critérios Obtidos pelo AHP

Critério	Peso Normalizado (%)	Classificação
Custo Logístico	38,29	1º
Tempo de Transporte	28,33	2º
Confiabilidade	18,39	3º
Segurança Operacional	14,99	4º

Fonte: Autores, 2024

Observou-se que, houve a seguinte distribuição de pesos: *custo do transporte* (38,29%) foi identificado como o fator mais relevante na decisão sobre as rotas, refletindo a preocupação dos stakeholders com a redução de despesas logísticas. *Frequência de transporte* (17,39%) apareceu como o segundo critério mais importante, indicando a necessidade de operações contínuas e regulares para garantir competitividade no escoamento da soja. *Segurança portuária* (6,99%) foi destacada como um fator crítico, especialmente devido às condições operacionais dos terminais e aos riscos de roubo e perdas durante o armazenamento.

As matrizes de comparação agregadas dos critérios e dos subcritérios de competitividade das rotas de escoamento de soja do estado do Mato Grosso são apresentadas na Tabela 6. As prioridades locais representam as importâncias relativas de cada critério dentro de seu grupo. As prioridades dos critérios gerais (Padrão, Serviços e Segurança) determinam a contribuição de cada grupo de subcritérios a seleção de uma rota. Os aspectos relacionados com os padrões de transporte das rotas foram considerados os mais importantes com peso de 0,6542, muito superior aos demais. As prioridades globais correspondem à ponderação das prioridades locais pela prioridade da respectiva categoria superior e correspondem aos pesos ou importâncias relativas de cada subcritério no processo de escolha de rotas pelos tomadores de decisão.

Para uma melhor exposição, os pesos são apresentados ordenados por magnitude em escala percentual na Figura 7, na qual pode-se observar o destaque para os critérios de padrões de transporte, e, em especial, para o Custo de Transporte (38,29%), como resultado da sua elevada preferência dentro de sua categoria (0,5853). A segurança portuária se situa entre 4 quatro aspectos mais importantes (6,99%). Observou-se, ainda, a baixa importância atribuída aos aspectos ambientais na escolha de uma rota (2,08%). Em termos de serviços da rota a disponibilidade de informações do frete (4,85%) e a confiabilidade/regularidade (4,52%) foram considerando os mais importantes.

A avaliação demonstrou que os critérios econômicos possuem um peso muito maior do que os critérios ambientais ou sociais, indicando que as decisões logísticas ainda são fortemente pautadas na redução de custos operacionais. A Figura 8 apresenta os pesos dos critérios obtidos sobre a competitividade das rotas.

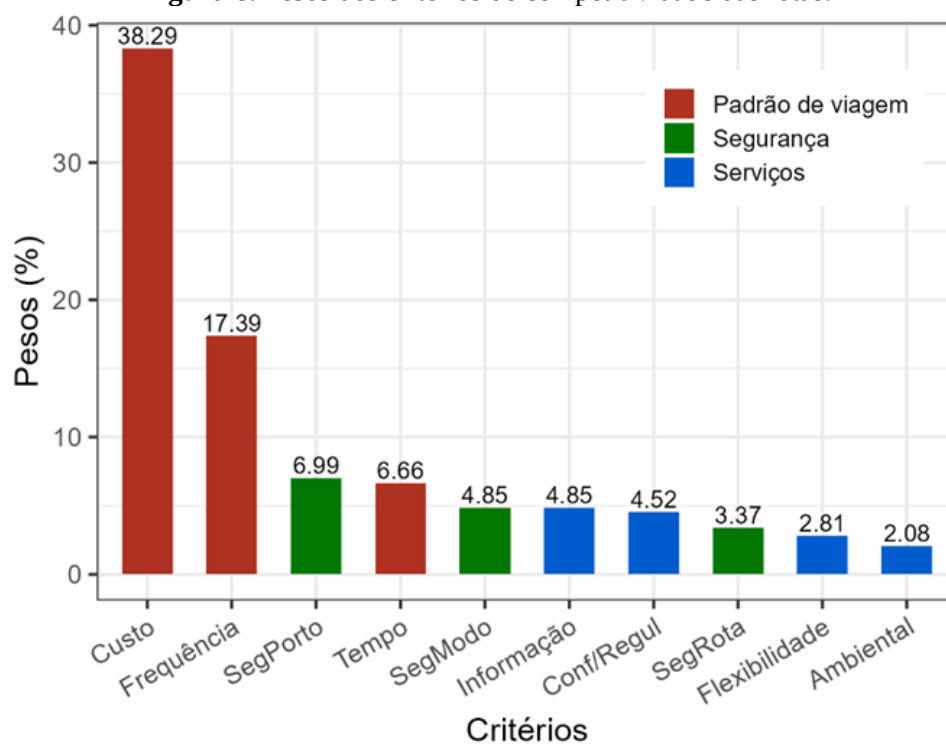
Concluindo, pode-se dizer que a integração entre a análise multivariada e a modelagem AHP permitiu entender como as características dos municípios e os critérios logísticos impactam a escolha das rotas de escoamento da soja. Os principais achados foram:

- O custo do transporte é o fator mais decisivo na escolha das rotas. Isso justifica o interesse crescente na utilização das hidrovias, que apresentam custos operacionais mais baixos.
- Municípios com infraestrutura precária enfrentam maiores custos logísticos, tornando o escoamento mais dependente da sazonalidade do transporte rodoviário.
- A frequência de transporte e a segurança portuária foram destacados como aspectos estratégicos, indicando a necessidade de melhorias na confiabilidade do modal hidroviário.

Tabela 6. Matrizes agregadas e prioridades locais e globais dos critérios

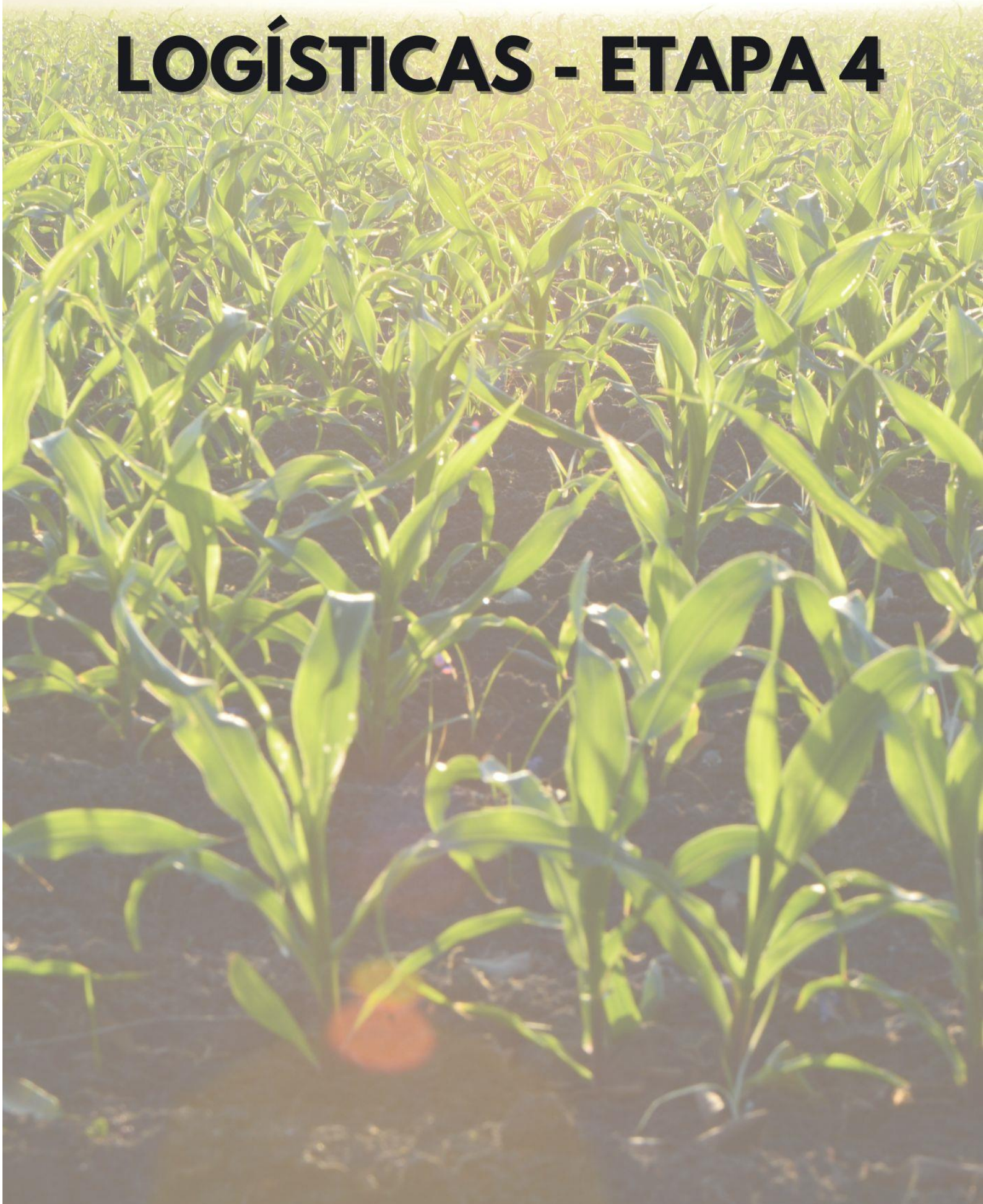
Matrizes					Prioridades (wi)	
Critérios	Padrão	Serviços	Segurança		Locais	Globais
Padrão	1,0000	3,9791	3,9791		0,6542	
Serviços	0,2513	1,0000	1,0000		0,1644	
Segurança	0,2513	1,0000	1,0000		0,1644	
Subcritérios:						
Padrão	Tempo	Custo	Frequência			
Tempo	1,0000	0,1395	0,3420		0,1019	0,0666
Custo	7,1683	1,0000	2,4662		0,5853	0,3829
Frequência	2,9240	0,4055	1,0000		0,2659	0,1739
Serviços	Conf/Regul	Flexibilidade	Ambiental	Informação		
Conf/Regul	1,0000	1,9129	2,0801	0,8221	0,2751	0,0452
Flexibilidade	0,5228	1,0000	1,3403	0,6934	0,1708	0,0281
Ambiental	0,4807	0,7461	1,0000	0,4055	0,1263	0,0208
Informação	1,2164	1,4422	2,4662	1,0000	0,2950	0,0485
Segurança	SegRota	SegModo	SegPorto			
SegRota	1,0000	0,6934	0,4830		0,2050	0,0337
SegModo	1,4422	1,0000	0,6934		0,2952	0,0485
SegPorto	2,0702	1,4422	1,0000		0,4250	0,0699

Fonte: Corrêa *et al.*, 2024.

Figura 8. Pesos dos critérios de competitividade das rotas.

Fonte: Corrêa *et al.*, 2024.

ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 4



5 ANÁLISE DAS REDES LOGÍSTICAS - ETAPA 4

A análise das redes logísticas do escoamento da soja no Estado do Mato Grosso até os portos de exportação é essencial para compreender os impactos da infraestrutura sobre a competitividade do agronegócio brasileiro num contexto de comércio mundial da soja e como forma de estudar as implicações das diversas rotas no Custo-Brasil. Nesta etapa, são utilizados métodos de decisão multicritério, modelagem geoespacial e simulação de cenários para avaliar a eficiência das rotas de transporte. Os resultados permitem identificar os principais gargalos, os investimentos necessários e a melhor combinação modal para reduzir custos logísticos e otimizar o fluxo de mercadorias.

A logística do escoamento da soja no Brasil é complexa e de caráter multimodal. A dependência do modal rodoviário gera custos elevados e impactos ambientais significativos. Contudo, a flexibilidade associada a este modo que se adapta à infraestrutura rodoviária existente e à dispersão das zonas de produção permite que continue a ser competitivo. Alternativas como o transporte ferroviário e hidroviário têm sido cada vez mais estudadas para oferecer soluções mais eficientes e sustentáveis (Brito *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021). No entanto, a transição para uma matriz logística mais equilibrada depende de investimentos estratégicos e de políticas públicas bem direcionadas de forma a tirar proveito da componente multimodal na componente das rotas em que os volumes a transportar são maiores e permitem rentabilizar os modos ferroviários e hidroviários.

Diante deste contexto, esta análise utiliza duas abordagens principais: (i) simulação de cenários de infraestrutura para mensurar impactos em tempo e custo do transporte e, (ii) avaliação das redes logísticas via métodos multicritério (AHP-TOPSIS). Os estudos serão realizados considerando três principais corredores logísticos utilizados no escoamento da soja do Mato Grosso para os mercados internacionais.

5.1 Simulação de Cenários e Impacto das Infraestruturas

O escoamento da produção de soja do Mato Grosso ocorre por meio de três principais rotas logísticas, que conectam a região produtora a diferentes portos do Brasil. A escolha da melhor rota depende de fatores como custo do frete, tempo de transporte, disponibilidade dos modais e confiabilidade da infraestrutura. Cada um desses corredores logísticos apresenta vantagens e desafios específicos já delineados nas visitas técnicas:

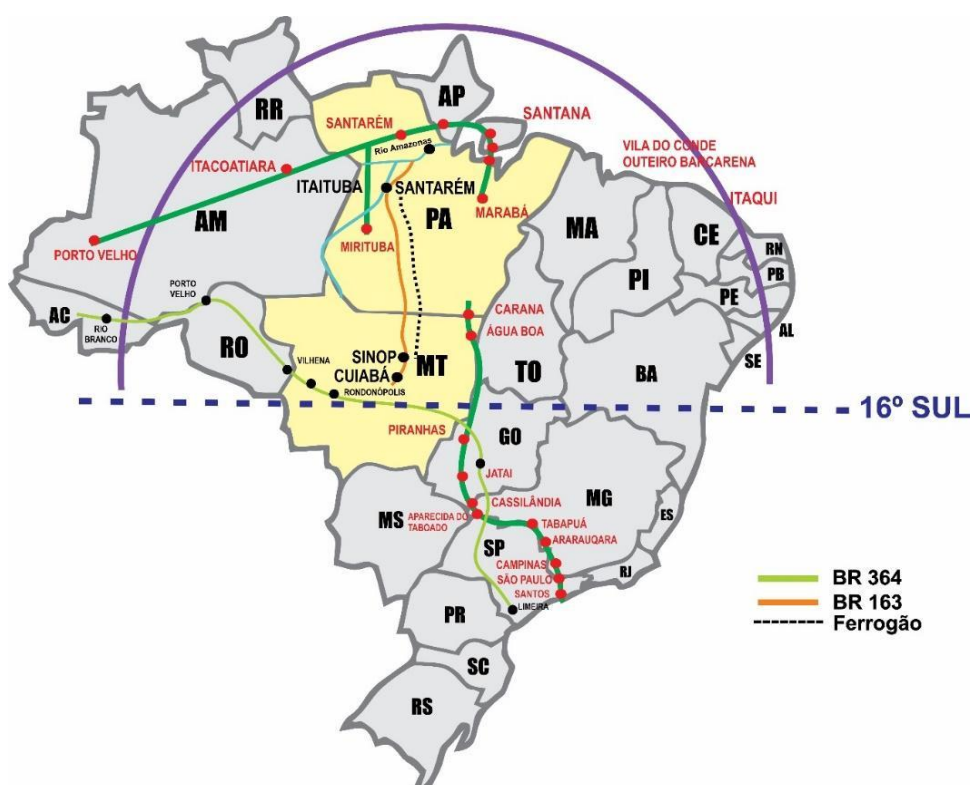
- A primeira rota analisada é a Rota 1, que utiliza a BR-163 e a Hidrovia Tapajós-Amazonas até o Porto de Vila do Conde. Essa alternativa tem se consolidado como uma das principais opções para o escoamento da soja devido ao menor custo

do frete em comparação com as rotas tradicionais do Sudeste. No entanto, a operação hidroviária ainda apresenta desafios relacionados à sazonalidade das chuvas e à necessidade de dragagem contínua dos rios para garantir navegabilidade.

- A Rota 2, que combina o modal rodoviário e ferroviário até o Porto de Santos, é a mais consolidada historicamente, mas apresenta um dos custos logísticos mais elevados devido à concentração do fluxo de carga no Sudeste. A limitação da capacidade ferroviária e os altos custos operacionais tornam essa rota menos competitiva em comparação com as alternativas do Arco Norte.
- Rota 3, que utiliza a BR-364 e a Hidrovia Madeira-Amazonas até os portos de Itacoatiara e Santarém, tem se mostrado uma opção interessante para o escoamento da produção. No entanto, o sucesso dessa alternativa depende de melhorias na infraestrutura portuária e da ampliação da capacidade dos terminais hidroviários.

A Figura 10 ilustra as principais rotas logísticas utilizadas para o escoamento da produção de soja do Mato Grosso, evidenciando os corredores estratégicos que conectam a região produtora aos principais portos do Brasil.

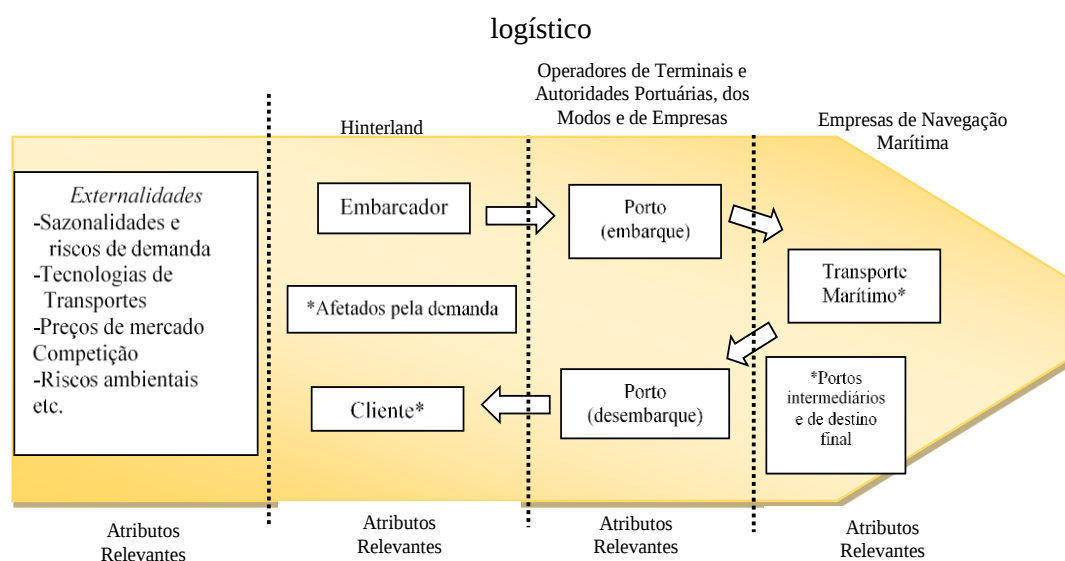
Figura 10. Principais Rotas Logísticas da Soja.



Fonte: Corrêa *et al.*, 2024.

A rede logística suportada em infraestruturas de transporte e que serve o escoamento para mercados internacionais é conceitualmente descrita como um sistema composto de vias intermodais e multimodais em direção a um porto e do porto com os destinos das cargas, mediante competição com os portos de proximidade de medida de desempenho. Nesta rede, o porto por onde é feito o escoamento internacional é nó de ligação do *hinterland* (perspectiva endógena) com o transporte marítimo (perspectiva exógena) e, portanto, devendo ser considerados todos os atores e infraestruturas do ambiente em rede envolvido, uma vez que os destinos das cargas potencializam a localização do porto como fator competitivo em relação aos demais portos. Assim, a utilização dos portos tem como público-alvo embarcadores, usuários das rotas dos portos (clientes das mercadorias) e agentes governamentais (autoridades portuárias e dos modos pertinentes), tidos como *stakeholders*. A Fig. 11 apresenta uma cadeia global do ambiente macro logístico e em que intervêm os vários *stakeholders* com diferentes atributos.

Figura 11. Visão Global simplificada de uma Cadeia Global de Carga num ambiente macro



Fonte: Tobias et al., 2024b.

De forma a caracterizar o processo atual de escoamento da soja produzida no estado de Mato Grosso, foi conduzida uma pesquisa de campo em março de 2024, na região de produção de soja, tendo como área de influência o município maior produtor de soja do Brasil, Sorriso e, outros municípios adjacentes, de produção significativa, como Nova Ubiratã e Diamantino (vide Fig. 12). Na visita de campo, ocorreram junto aos *stakeholders* a coleta de documentos e depoimentos, além de registros de opiniões sobre os principais desafios da logística de escoamento da soja produzida na região. Além disso, desde o ano de 2023, foram identificadas as principais fontes de informações secundárias sobre dados da produção e do transporte na região, através das redes sociais e, em

seminários virtuais de pesquisa sobre o tema. A visita de campo permitiu, ainda, consolidar a junção de documentos públicos face a uma relação de projetos de infraestrutura apontados para viabilizar a chegada das cargas até os portos.

Figura 12. Localização dos principais municípios produtores de soja do Mato Grosso, identificação dos modos de transporte existentes atualmente e localização dos portos de exportação.



Fonte: Adaptado pelos autores, 2024.

Sabendo que o escoamento eficiente da produção de soja, em particular proveniente do Estado de Mato Grosso, no Brasil, para os portos de exportação é crucial para a competitividade do agronegócio brasileiro, foi feita a modelagem multimodal das rotas da rede de transporte da soja num sistema de informação geográfica de forma a simular as rotas de escoamento. Essa operação permite a comparação de alternativas atuais ou projetadas, bem como auxiliar na otimização do processo. Mediante uma base de dados consolidada sobre as infraestruturas de transporte por onde se efetua o escoamento da soja produzido no estado de Mato Grosso, foram identificadas basicamente três rotas (Fig. 13) suportadas de diferentes formas pelos modos rodoviário, ferroviário e hidroviário, com destino ao Porto de Santos e aos portos do Arco-Norte.

Figura 13. Traçados das rotas R1, R2 e R3

Fonte: Tobias et al., 2024b

A rota designada R1 liga a região de produção no estado do Mato Grosso ao estado do Pará pela BR-163 na direção Norte, levando a soja por via rodoviária até o porto de Miritituba e posteriormente por via fluvial até o porto de Vila do Conde, para então empreender viagem marítima até os destinos consumidores. A rota designada R2 faz a ligação rodoviária pela BR-163 na direção Sul para o município de Rondonópolis, ainda no estado do Mato Grosso. Nesse município, é efetuado o transbordo para a ferrovia da Ferronorte, que completa o percurso até o porto de Santos, no sudeste do país, para depois seguir por via marítima até os destinos consumidores.

A rota R2 possui ainda uma opção totalmente rodoviária que efetua a ligação entre a região de produção no Mato Grosso ao Porto de Santos, a qual é também analisada. Por último, a rota R3 possui um percurso rodoviário pela BR-364, que leva a soja até o transbordo para o modo fluvial no porto de Porto Velho, no estado Rondônia, que depois por via hidroviária no rio Madeira é transportada até os portos de Itacoatiara, no estado do Amazonas, e de Santarém, no estado do Pará. Nesta rota R3 o porto de Santarém, onde é efetuado o transbordo para envio marítimo internacional, é mais expressivo em recepção de carga.

As três rotas em análise evidenciam que o escoamento de soja dos municípios de Mato Grosso é realizado através de uma rede multimodal que integra os modos rodovias, ferro e hidroviário e, que cada rota escoar de forma preferencial a produção oriunda das zonas Centro, Sul ou Oeste da área de produção, face à proximidade que cada uma possui aos portos. Assim, tem-se que na área de produção centrada em Sorriso e Nova Ubiratã o escoamento será preferencialmente efetuado por Vila do Conde, no Pará, pela rota R1. A produção na área de Nova Mutum e Diamantino é enviada para Santos, em São Paulo, pela rota R2; na sua grande maioria em modo rodoviário até Rondonópolis, seguindo de seguido pela ferrovia da Ferronorte até ao porto de Santos. Por sua vez, a área de produção centrada em Campo Novo de Parecis e Sapezal, será fretada preferencialmente pela BR-364 até Porto Velho, em Rondônia, e posteriormente segue por hidrovia em barcas até os portos de Itacoatiara, no Amazonas, ou para Santarém, no Pará, para então prosseguir a viagem para os destinos internacionais.

A estrutura geral da modelação se constitui em:

- Consolidação em *SIG* da rede de transporte multimodal, com a identificação dos nós e dos trechos (vértices e arestas da rede) já em funcionamento e dos trechos planejados (ONTL, 2024). A consolidação foi feita de forma a garantir a continuidade da rede desde a origem até o destino e com conectividade entre os diferentes modos de transporte face às infraestruturas de transbordo.
- Análise ponderada da rede complexa resultantes de todas os caminhos possíveis. Estudo em *SIG* que combina as informações topológicas com a distribuição de peso da rede (Newman, 2004), tendo em conta as características próprias de cada vértice e de cada aresta da rede. O peso adotado é uma medida da coesão local que leva em consideração a importância da estrutura agrupada com base na quantidade de tráfego ou intensidade de interação realmente proporcionadas pela rede. Esta componente do estudo da rede logística oferece uma abordagem quantitativa e geral para entender a arquitetura complexa da rede (Barrat *et al.*, 2004; Kurant; Thiran, 2006) entre as regiões de produção e os portos de exportação.
- Simulação de cenário, mediante a definição da rede logística e possíveis investimentos na rede atual, em como se comportariam as variáveis utilizadas, como forma de averiguar a sensibilidade do modelo.

Em seguida, são detalhadas as cinco etapas da preparação e validação da estrutura de dados da rede de escoamento de soja no Mato Grosso, incluindo os atributos recolhidos na pesquisa de campo:

- Etapa 1 - Pesquisa de Fontes de Dados Geográficos: na busca por dados geográficos relevantes para a região de estudo, foram consultados diversos repositórios de dados geográficos públicos. Por serem fontes oficiais, os portais do Ministério dos Transportes do Brasil e do INTERMAT (Instituto de Terras do Mato Grosso) foram fontes cruciais para obter dados atualizados sobre a malha viária do estado, incluindo rodovias, ferrovias e hidrovias. Complementarmente, as *layers* disponibilizadas pelo portal *OpenStreetMap* e os dados acessíveis por *Google Maps*, também, são tidos em consideração. A estes, destina-se um papel essencial nas etapas de comparação e validação, nomeadamente no esclarecimento de dúvidas sobre traçados e extensão de percursos.
- Etapa 2 - Extração e Seleção de Dados Geográficos: com as fontes de dados identificadas, é iniciado o processo de extração e seleção dos dados relevantes para o estudo. Os dados utilizados são considerados fiáveis pois surgem disponíveis na fonte já em formatos *shapefile* para *SIG*. Em seguida, no *SIG*, são utilizadas as ferramentas de consulta espacial para selecionar e gerar novas camadas, apenas contendo os dados relevantes para o estudo: as principais rodovias utilizadas pelos caminhões transportando soja, as ferrovias que ligam áreas de produção a portos de exportação, hidrovias navegáveis e terminais de grãos com capacidade para receber e armazenar a produção. Esta seleção criteriosa dos dados permite para garantir a qualidade e precisão da análise posterior.
- Etapa 3 - Correção e Preparação das Camadas Vetoriais: após a seleção dos dados da rede de transporte da soja, seguiu-se a etapa de correção e preparação das camadas vetoriais. Essa etapa é crucial para garantir a confiabilidade e a integridade da estrutura da rede. São utilizadas ferramentas de edição de dados geográficos para identificar e corrigir falhas de conexão entre trechos contínuos de rodovias ou ferrovias, garantindo a conectividade da rede. Em particular, são de grande utilidade a edição de vértices e o *Planarize* do *ArcGIS Pro*. Em seguida, são inseridos todos os pontos de interconexão entre os diferentes modos de transporte, como pontos de transbordo de carga entre rodovias e ferrovias ou portos de acesso a hidrovias. A inserção desses pontos de interconexão viabiliza

o cálculo de rotas multimodais, ao permitir o envolvimento de diversos modos de transporte. Por fim, são inseridas as principais características, sob a forma de atributos, que representam as particularidades de cada modo de transporte e as características das vias nas respectivas tabelas de atributos (velocidade média, número de vias, pavimentação etc.). A *layer* final da rede é configurada para representar os custos de viagem objeto do estudo: com os dados de cada trecho quanto à respectiva distância e tempo de viagem, face ao modo em causa.

- Etapa 4 - Teste de Rotas entre Pontos distribuídos na rede: para verificar a conectividade da rede e identificar possíveis erros de conexão, são calculadas diversas rotas entre pontos aleatórios de origem e destino dentro da área de estudo. Disponível através da extensão *Network Analyst do ArcGIS Pro*, a função *Route* é aplicada sequencialmente. Esta função usa um algoritmo de cálculo de menor caminho para identificar rotas entre origens e destinos, que minimizem um custo previamente designado. São testadas sequencialmente rotas entre uma multiplicidade de pares de pontos (origem e destino), de forma a procurar erros de conectividade e inconsistências na geração de rotas. Os pontos de origem são inseridos em áreas com alta produção de soja, enquanto os pontos de destino são gerados em portos de exportação. As origens e os destinos situados nas extremidades da rede, também, são incluídos nas iterações de testes de percursos, procurando desta forma garantir que toda a extensão da rede é validada em termos de conectividade. Ao longo deste processo de validação, é considerado haver um erro de conectividade na rede sempre que a função *Route* indica ser impossível calcular uma rota entre dois pontos ou quando a solução apresentada não corresponde ao percurso real ou expectável. Nesses casos, um processo sistemático é aplicado para encontrar a descontinuidade: sucessivamente, os pontos referentes a origem e destino em causa devem ser substituídos por pontos um pouco mais próximos e calculada novamente a rota; o passo é repetido até se identificar um trecho com uma extensão suficientemente reduzida para permitir rapidamente identificar a descontinuidade por inspeção visual. A continuidade é então reposta pela edição de vértices das linhas envolvidas.
- Etapa 5 - Validação do Modelo: para validar a precisão e confiabilidade do modelo da rede de transporte do escoamento de soja, são comparados os resultados das simulações com dados de rotas reais utilizadas e com base em métricas de validação a distância de percurso e a tempo de viagem. Num processo iterativo,

são efetuados ajustes no modelo para aproximar os dados simulados aos dados reais. Nos casos em que surgem discrepâncias ao nível das distâncias são feitas observação das imagens de satélite de forma a identificar as diferenças de traçado e, conseqüentemente, realizar as edições necessárias nas *layers* vetoriais envolvidas. Quando a disparidade surge ao nível do tempo de viagem, são revistos os atributos relativos as velocidades médias dos modos de transporte utilizados ao longo de percurso, após consulta de novas fontes de informação.

No final do processo, a comparação entre as rotas simuladas e as rotas reais deve demonstrar que o modelo da rede apresenta uma alta precisão, com erro médio inferior a 32 km, em percursos cuja extensão é em média de 1320 km. Os resultados da validação confirmaram que o modelo da rede de transporte em *SIG* é confiável para simular a atual rede de escoamento de soja e permitir analisar diferentes cenários futuros decorrentes de melhoramento da rede nas várias componentes modais e de pontos de transbordo. Após a aplicação do modelo, descrito na seção anterior, implementado em *SIG* para análise das três rotas identificadas para o escoamento da produção de soja da região Centro-Oeste do Mato Grosso foi possível avaliar os resultados obtidos e validar o modelo.

Os resultados se apresentaram de acordo com o objetivo do trabalho, que foi de avaliar rota multimodal de rede de transporte da soja do Mato Grosso – Brasil, em que se ponderam os três eixos de escoamento salientados anteriormente, de forma a avaliar o respetivo nível de concorrência, mediante três atributos: Frete (R\$/ton), Distância (km) e Tempo (horas, h). Os resultados destes três atributos resultam da análise em *SIG*, da base que suportam os valores adotados nos diferentes modos e trechos:

- Frete (R\$/ton): foram considerados os valores de frete obtidos através da plataforma do IMEA (2024) para os diferentes modos, sendo assumidos valores proporcionais à distância para os trechos e modos que não existiam valores na fonte;
- Tempo (horas, h): foram considerados os valores de tempo de viagem obtidos através dos embarcadores e associações, nas reuniões durante a visita de campo e, posteriormente, recebidas em meio virtual. Também, pelos relatos dos transportadores foi possível estabelecer as seguintes velocidades médias rodoviárias: 45 km/h para rodovias pavimentadas de pista simples; 60 km/h para rodovias pavimentadas de pista dupla. No caso de ferrovia, 40 km/h e, ainda, no modo hidroviário de 6 nós.

As três rotas em análise são as seguintes, salientado os percursos rodoviários utilizado para início de transporte junto aos produtores localizados nos municípios identificados para cada rota:

- Rota R1, via BR-163 na direção Norte entre Sorriso, no estado do Mato Grosso, e o porto de Miritituba, em Itaituba no Estado do Pará, seguindo viagem até o porto de Vila do Conde, próximo a Belém do Pará, e deste porto via marítima até os destinos;
- Rota R2, via BR-163 na direção Sul entre Nova Mutum (município situado a Sul de Sorriso) e Rondonópolis, estendendo-se a partir de Rondonópolis por ferrovia da Ferronorte até ao Porto de Santos no Estado de São Paulo, e deste porto via marítima até os destinos. Também, é considerada uma alternativa para esta rota 2 assumindo que todo o trajeto é feito em modo rodoviário da região de Sorriso até Santos.
- Rota R3, via BR-364 entre Campo Novo do Parecis (município situado a Oeste de Sorriso) até Porto Velho, no estado de Rondônia, em trecho rodoviário, seguindo a viagem à partir deste porto para os portos de Itacoatiara, no estado do Amazonas, ou Santarém, no Estado do Pará, e destes portos via marítima até os destinos finais.

O estudo restringiu-se ao território brasileiro, não se incluindo a análise do escoamento da carga via marítima, já que o objetivo foi estudar as implicações das rotas no Custo-Brasil. Assim, com base nos resultados obtidos em SIG para a simulação das três rotas e, de acordo com as condições atuais de infraestrutura os resultados dos atributos de Frete (R\$/ton), Distância (km) e Tempo (horas, h) são apresentados na Tabela 7.

Tendo em conta os cenários que admitem as alterações previstas em planos governamentais e de iniciativa privada, para as várias das infraestruturas e, considerando novas infraestruturas, conforme apresentado na Tabela 8 para as três rotas da Figura 13. Consecutivamente, pode-se observar comparando as Tabelas 7 e 8, os valores de Frete (R\$/ton), Distância (km) e Tempo (horas, h) das atuais três rotas nas condições atuais e, se as R1 e R3 tiverem melhoramentos efetivos das respectivas infraestruturas. A R2 não sofre alterações pois os trechos rodoviários atuais já se encontram duplicado e já existe uma componente multimodal ferroviária. Pela análise comparativa dos valores de frete das três rotas fica evidente que a R1 é atualmente a que permite um valor mais baixo, no entanto não é a mais efetiva em termos de tempo. Na R1 a componente hidroviária aumenta muito o tempo entre a zona de produção e o porto de embarque em navio.

Tabela 7. Comparação das Rotas Logísticas

Rota R1 – Atual com modos rodo e hidroviário			
Partida - Destino	Frete (R\$/ton)	Distância (km)	Tempo (h)
1. Rodoviário: Sorriso - Miritituba	246,57	1077	30
2. Hidroviário: Miritituba - Vila do Conde	139,30	900	81
Total (1+2)	385,87	1977	118
Rota R2 – Atual com modo só rodoviário e com modos rodo e ferroviário			
Partida - Destino	Frete (R\$/ton)	Distância (km)	Tempo (h)
Rodoviário: Nova Mutum - Santos	473,31	1844	31
Total	473,31	1844	31
1. Rodoviário: Nova Mutum - Rondonópolis	127,56	457	8
2. Ferroviário: Rondonópolis - Santos	303,00	1655	48
Total (1+2)	430,56	2112	56
R3 - Atual com modos rodo e hidroviário e 2 portos diferentes			
Partida - Destino	Frete (R\$/ton)	Distância (km)	Tempo (h)
1. Rodoviário: Campo Novo dos Parecís - Porto Velho	282,30	1058	27
2. Hidroviário: Porto Velho - Itacoatiara	137,87	1120	96
Total (1+2)	420,17	2178	123
3. Hidroviário: Porto Velho - Santarém	206,93	1640	144
Total (1+3)	489,23	2698	171

Nota: Para efeito comparativo com os valores internacionais de frete para *commodities*, o dólar americano na data de submissão deste artigo, 28/06/2024, guardadas as devidas flutuações, era aproximadamente R\$ 5,60.

Fonte: Tobias et al., 2024b (frete e tempo, IMEA, 2024)

Tabela 8. Comparação dos Custos e Tempos nos Diferentes Cenários

Rota R1 – Cenários com duplicação de rodovia e/ou construção de ferrovia			
Partida - Destino	Frete (R\$/ton)	Distância (km)	Tempo (h)
1. Rodoviário: Sorriso – Miritituba (duplicada)	246,57	1077	24
2. Hidroviário: Miritituba - Vila do Conde	139,30	900	81
Total (1+2)	385,87	1977	105
3. Sorriso - Miritituba (Ferrovia)	*	1043	31
Total (2+3)		1943	112
4. Sorriso - Santarém (Ferrovia)	*	1372	40
5. Hidroviário: Santarém – Vila do Conde	105,88	807	72
Total (4+5)	*	2179	112
Rota R3 - Cenários com duplicação de rodovia			
Partida - Destino	Frete (R\$/ton)	Distância (km)	Tempo (h)
1. Rodoviário: Campo Novo dos Parecís - Porto Velho (duplicada)	282,30	1058	22
2. Hidroviário: Porto Velho - Santarém	206,93	1640	144
Total (1+2)	489,23	2698	166

Nota: * frete ferroviário não disponível, face a ferrovia ser um projeto sob estudos de viabilidade

Fonte: Tobias et al., 2024b

A R3 possui um valor de tempo similar à R1 se for utilizado o porto de Itacoatiara, mas o tempo aumenta significativamente se for para o porto de Santarém. A R2 possui valor de frete mais elevado que R1, quer no modo multimodal rodo-ferro, quer no modo só rodoviário. No entanto, é a mais efetiva em termos de tempo de escoamento, que é um fator essencial quanto à escolha de rota.

A análise dos resultados apresentados para as três rotas deixa evidente que o modelo simula adequadamente cada uma delas em termos de distância e tempo, o que permite demonstrar a mais valia do modelo implementado em SIG. Complementarmente à Tabela 7, na Tabela 8 tem-se como demonstração quais alterações em termos de duplicação de rodovias diminui o tempo de viagem em aproximadamente 6 horas de viagem nas R1 e R3. Contudo, os valores apresentados continuam a ser superiores aos valores apresentados pela R2. Vale ressaltar que, o impacto no frete se pode considerar indiferente a estas variações, uma vez que o frete está relacionado com o mercado de transporte de carga, com influência dos transportadores internacionais e da concorrência entre os operadores existente no transporte da soja no Brasil. Contudo, os resultados permitem salientar que a melhoria do tempo de viagem pode influenciar na concorrência entre as rotas de acesso aos portos, resultado na preferência por uma rota que permita ligar a zona de produção aos portos de Santarém e Vila do Conde, no estado do Pará.

A análise detalhada das redes logísticas revela que, apesar dos avanços recentes, a infraestrutura do escoamento da soja ainda apresenta desafios estruturais significativos. O modal rodoviário continua sendo predominante, o que gera custos elevados e limita a capacidade de expansão da produção agropecuária.

A aplicação dos métodos AHP-TOPSIS indica que a rota intermodal BR-163 + Hidrovia Tapajós-Amazonas é a alternativa mais competitiva atualmente, enquanto a simulação de cenários demonstra que a expansão da Ferronorte pode ser a solução mais eficiente no longo prazo. Isso reforça a necessidade de políticas públicas e investimentos privados para diversificar a matriz logística e tornar o escoamento da soja mais eficiente e sustentável.

Os achados deste estudo fornecem subsídios para a formulação de estratégias de infraestrutura, indicando os principais pontos de atenção para os gestores públicos e investidores do setor logístico. O futuro do escoamento da soja depende de decisões que otimizem custos e garantam um transporte mais confiável, reduzindo a dependência das rodovias e fortalecendo a utilização dos modais ferroviário e hidroviário.

5.2 Avaliação de Critérios Logísticos por AHP-TOPSIS

A escolha da melhor rota para o escoamento da soja foi realizada por meio do método AHP-TOPSIS, que permitiu hierarquizar as opções com base em critérios estratégicos. O primeiro passo consistiu na definição dos critérios de avaliação, que são divididos em três grandes categorias. O método combinado AHP-TOPSIS tem sido amplamente utilizado em diferentes contextos, como demonstrado nos estudos de *Li et al.* (2024), *Lin et al.* (2024), *Ogonowski* (2022), *Rajput, Sahu e Agrawal* (2022), e *Zoma e Sawadogo* (2023).

Os critérios relacionados ao padrão de viagem incluíram tempo total de transporte, custo de frete e frequência das operações logísticas. Em seguida, foram avaliados os aspectos ligados à qualidade dos serviços logísticos, como regularidade das operações e flexibilidade na utilização dos modais. Por fim, foram considerados critérios relacionados à segurança da infraestrutura, incluindo segurança da rota, segurança dos terminais portuários e confiabilidade do transporte.

Após a definição dos critérios, foi realizada a comparação pareada pelo AHP, resultando na atribuição de pesos para cada fator.—Com esses pesos definidos, as alternativas logísticas foram classificadas pelo método TOPSIS, e pode-se determinar quais rotas apresentaram melhor desempenho considerando as condições atuais e futuras da infraestrutura.

A definição dos pesos atribuídos aos critérios é realizada com base na escala de Saaty (Saaty, 1980), ajustada para garantir consistência na análise comparativa dos fatores considerados. A Figura 14 ilustra essa adaptação, possibilitando a representação clara das relações de prioridade entre os critérios avaliados. Essa abordagem contribui para a aplicação estruturada do método AHP, reduzindo ambiguidades e assegurando que a importância relativa de cada fator seja expressa de maneira objetiva. Assim, a classificação das alternativas é conduzida utilizando uma escala padronizada, alinhada com a metodologia adotada.

Figura 14 – Escala de Saaty adaptada



Fonte: Corrêa *et. al.* 2024

Com a definição dos procedimentos metodológicos, foi aplicado um questionário aos stakeholders, apresentado no ANEXO II, resultando nos pesos globais atribuídos aos critérios, bem como a elaboração das matrizes de decisão correspondentes aos cenários atual e de intervenção. Os valores dos subcritérios foram obtidos a partir das médias geométricas das avaliações fornecidas pelos respondentes para as diferentes rotas, sendo posteriormente ajustados para uma escala de 1 a 5.

Na Tabela 7 tem-se os pesos globais atribuídos aos critérios, bem como as matrizes de decisão correspondentes aos cenários atual e de intervenção. No processo de cálculo pelo método TOPSIS, os subcritérios são classificados conforme sua finalidade: aqueles voltados para a maximização são tratados como critérios de benefício, indicados pelo símbolo “+”, enquanto os que visam à minimização são considerados critérios de custo, representados pelo símbolo “-”.

Tabela 9. Pesos dos Critérios para Avaliação das Rotas

	Padrão de viagem, p=0.42			Serviços, p=0.25				Segurança, p=0.25		
	Tempo, h	Custo, \$/ton	Freq	Flex	CR	Amb	Info	SegRota	SegModal	SegPorto
Objetivo	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
peso	0.066	0.176	0.116	0.043	0.053	0.042	0.088	0.069	0.062	0.094
Atual										
R1	72	73.23	5.00	2.63	3.30	2.55	2.85	2.73	2.63	2.98
R2	58	87.91	3.00	2.78	2.45	2.45	3.22	2.45	3.00	3.22
R3	180	111.98	1.41	2.88	2.88	2.29	2.62	2.29	2.29	2.52
Cenários										
R1	66	73.23	5.00	2.63	4.29	3.06	2.85	4.10	3.95	2.98
R2	66	57.53	4.50	2.78	3.19	3.68	3.22	3.68	4.50	3.22
R3	172	111.98	1.83	2.88	3.74	2.75	2.62	3.44	3.44	2.52

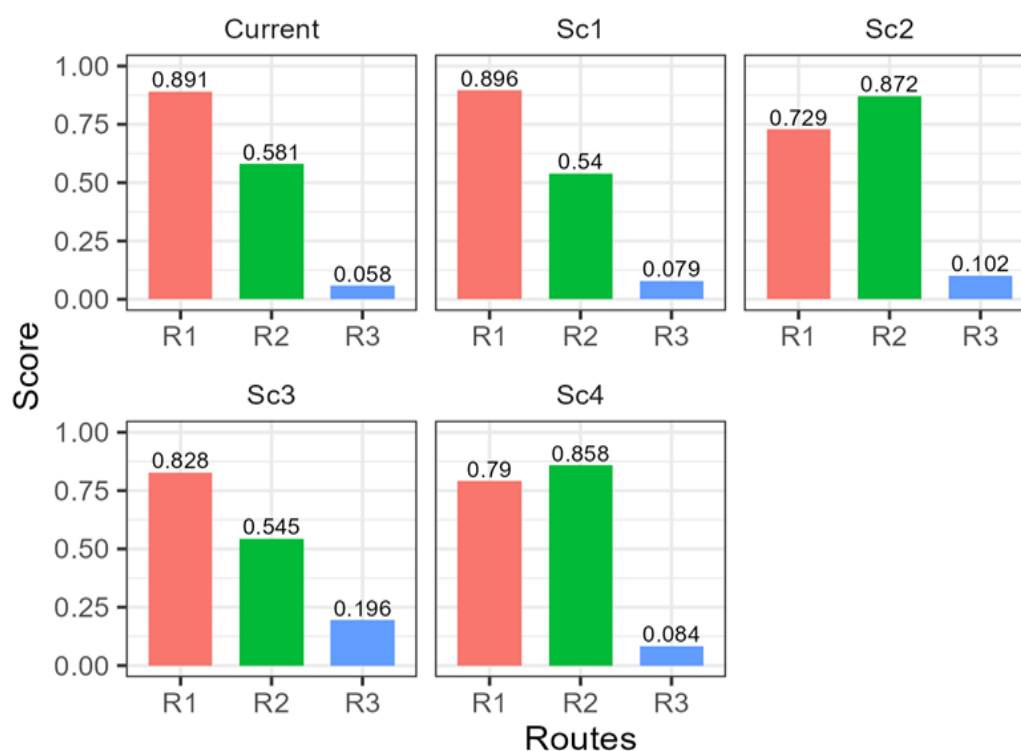
Objetivo = subcritério objetivo, onde “+” denota maximização e “-” denota minimização, **p** = pesos globais, **Tempo** = tempo de transporte em horas, **Custo** = custos de transporte em USD, **Freq** = pontualidade e regularidade da entrega, **Flex** = flexibilidade, **CR** = confiabilidade e regularidade, **Amb** = impacto ambiental, **Info** = disponibilidade de informações sobre o transporte, **SegRota** = segurança da rota, **SegModal** = segurança do modal e **SegPorto** = segurança portuária.

Fonte: Tobias *et al.*, 2024a.

A Figura 15 apresenta os *escores* TOPSIS das rotas, considerando tanto a situação atual quanto para quatro cenários distintos. O Cenário 1 abrange intervenções na R1, o Cenário 2 na R2, o Cenário 3 na R3 e o Cenário 4 engloba todas as melhorias simultaneamente. No contexto atual, a Rota 1 se destaca como a alternativa mais eficiente para o escoamento da soja, atingindo um escore de 0,891, o que representa um

desempenho 76% superior ao da Rota 2, que ocupa a segunda posição no ranking. A ordenação atual das rotas segue a sequência: $R1 > R2 > R3$.

Figura 15 – Ranking das Rotas Logísticas pelo TOPSIS



Fonte: Tobias *et al.*, 2024a.

No Cenário 1, a valorização da R1 aumenta, resultando em um desempenho inferior da R2, enquanto a R3 apresenta uma leve melhora. Já no Cenário 2, a implementação da ferrovia gera um impacto expressivo na valorização da R2 em relação à R1, refletindo também no crescimento da R3. Esse efeito pode ser atribuído à posição geográfica da R3, que se encontra estrategicamente situada em direções opostas conforme o destino final da carga, seja para o Porto de Santos (Sudeste) ou para Porto Velho (Sudoeste).

No Cenário 3, a duplicação da BR-364 impulsiona a valorização da R3, sem alterações na R2, ao passo que a R1 apresenta uma redução em seu desempenho, sugerindo um possível deslocamento do fluxo de soja da R1 para a R3. Entre os cenários analisados, os Cenários 2 e 4 evidenciam os impactos mais expressivos nos escores das rotas. Nessas condições, a Rota 2 registraria um crescimento de 50% e 48%, respectivamente, tornando-se a opção mais vantajosa para o escoamento da soja. Esse resultado destaca o impacto significativo da ferrovia Ferronorte, levando a uma nova classificação das rotas: $R2 > R1 > R3$.

O modelo adotado possibilita a análise dos efeitos dos investimentos em infraestrutura sobre a competitividade das rotas logísticas, levando em conta a relevância dos critérios de decisão segundo a perspectiva dos gestores. A avaliação ressalta a importância da Ferronorte como um fator estratégico para a competitividade da Rota 2.

O critério custo do frete foi identificado como o mais relevante na escolha da rota, seguido pela frequência do transporte e pela segurança portuária. Os resultados indicam que a Rota 1, que utiliza a BR-163 e a Hidrovia Tapajós-Amazonas, é a alternativa mais competitiva quando comparada às demais opções. Essa rota apresenta os menores custos operacionais e boa previsibilidade no transporte, especialmente quando analisados os cenários futuros de investimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento das Etapas 3 e 4 do projeto *ARCLOG NORTE* representa um avanço significativo na construção de um modelo estratégico para redes logísticas de escoamento da soja pela região do Arco Norte. A etapa de modelagem de demanda permitiu identificar e classificar os territórios de origem da produção agrícola com base em critérios logísticos e socioeconômicos, por meio de métodos estatísticos e multicritério. A etapa de análise das redes logísticas, com o apoio do ArcGIS e da simulação de rotas, possibilitou avaliar a competitividade das principais alternativas de transporte considerando múltiplos fatores decisórios.

As contribuições dessas etapas são evidentes: foram identificadas as rotas mais vantajosas, como a combinação BR-163 + Hidrovia Tapajós-Amazonas, e caracterizados os principais entraves logísticos da região. Além disso, consolidou-se uma base integrada de dados que articula critérios técnicos (custo, tempo, regularidade), aspectos territoriais (IDH, PIB per capita, estrutura portuária) e elementos ambientais e sociais.

Entretanto, alguns desafios permanecem. A escassez de dados detalhados limitou a aplicação de métodos quantitativos mais complexos, como a programação linear fuzzy inicialmente prevista. Além disso, os resultados obtidos pelas diferentes abordagens ainda carecem de integração plena, o que dificulta a construção de um modelo único, robusto e validado para apoio à decisão.

Entre as principais contribuições científicas, destacam-se: (i) a sistematização de um banco de dados georreferenciado, (ii) a aplicação de metodologias multicritério adequadas ao contexto amazônico, e (iii) a formulação de diretrizes logísticas baseadas em cenários realistas. Tais contribuições reforçam a relevância prática e teórica da pesquisa, além de sua capacidade de dialogar com políticas públicas de infraestrutura e desenvolvimento regional sustentável.

Em contrapartida, a limitação de informações precisas e atualizadas sobre os fluxos logísticos, custos operacionais e dados ambientais específicos dos corredores analisados, impôs a necessidade de reformular parte da abordagem prevista. Tais limitações, contudo, também revelaram uma oportunidade: a reformulação do modelo, com base em cenários estratégicos simplificados, tornou-se uma alternativa viável e coerente com os objetivos do projeto e com os recursos disponíveis.

Nos próximos passos, as Etapas 5 e 6 do projeto concentram-se, respectivamente, na formulação do modelo estratégico e na sua apresentação final. Para garantir a

viabilidade prática da proposta, será adotada uma abordagem pragmática, com foco em quatro eixos principais:

- Integração de Resultados: Consolidar, em uma estrutura única, as contribuições das Etapas 3 e 4, reunindo critérios decisórios, impactos territoriais e rotas otimizadas. A construção de um banco de dados integrado já está em curso, e servirá como base para a simulação dos cenários.
- Cenários Estratégicos Simplificados: Em substituição a modelos matemáticos complexos, serão construídos quatro cenários logísticos com diferentes níveis de investimento – base, conservador, intermediário e otimista – permitindo comparações diretas quanto ao impacto sobre o custo logístico, o tempo de transporte e a sustentabilidade regional.
- Simulação Operacional e Validação Qualitativa: As simulações serão implementadas em plataforma SIG (como ArcGIS), com base em variáveis-chave previamente identificadas. A validação dos cenários ocorrerá por meio de encontros com stakeholders, utilizando abordagens qualitativas como painéis de especialistas ou o método Delphi modificado.
- Documento Final e Aplicabilidade Prática: A etapa conclusiva será a elaboração do relatório final, com foco na aplicabilidade. O documento apresentará os cenários validados, recomendações de investimento e diretrizes para implementação real das soluções propostas, com potencial para influenciar políticas públicas e decisões empresariais.

Mesmo em sua fase intermediária, o projeto ARCLOG NORTE já apresenta contribuições concretas para os impactos inicialmente previstos no plano de pesquisa. A partir dos resultados das Etapas 3 e 4, pode-se observar uma forte convergência entre os avanços metodológicos e os compromissos estabelecidos nos marcos de sustentabilidade, tanto em nível nacional quanto internacional.

Em termos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, o projeto contribui de forma direta para:

- ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura): ao propor soluções logísticas inovadoras e sustentáveis, como o uso ampliado das hidrovias e a análise de redes multimodais que otimizam a infraestrutura existente;
- ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis): ao promover alternativas logísticas que reduzem desperdícios e emissões, e estimulam a eficiência dos recursos;

- ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima): por meio da priorização de modais de menor impacto ambiental, como o transporte hidroviário, contribuindo para a redução da pegada de carbono associada à exportação de commodities;
- ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico): ao identificar oportunidades de diversificação econômica e geração de emprego em municípios estratégicos da Amazônia Legal, estimulando o desenvolvimento regional equilibrado e a inclusão produtiva.

No âmbito dos critérios ESG (Ambiental, Social e de Governança), os produtos parciais do projeto já demonstram:

- No eixo Ambiental (E): a valorização da intermodalidade com foco na redução das emissões de CO₂, na eficiência energética e na preservação ambiental da região amazônica;
- No eixo Social (S): o reconhecimento das desigualdades territoriais e a proposta de cenários que favorecem a integração regional, com benefícios para comunidades ribeirinhas, trabalhadores do setor logístico e pequenos produtores;
- No eixo de Governança (G): a construção de uma base técnico-científica transparente, pautada em dados, critérios objetivos e validação com stakeholders, promovendo decisões fundamentadas e colaborativas entre academia, setor produtivo e gestão pública.

Esses resultados evidenciam que o ARCLOG NORTE não apenas está no caminho para atingir seu objetivo estratégico — de contribuir com soluções práticas para a redução do "Custo Brasil" no escoamento agrícola — como também está alinhado com os princípios de desenvolvimento sustentável e responsabilidade socioambiental que regem os investimentos públicos e privados na atualidade.

Nas próximas etapas, com a formulação dos cenários estratégicos e a consolidação do modelo final, espera-se reforçar ainda mais essa contribuição, com recomendações aplicáveis a políticas públicas e à iniciativa privada, viabilizando uma transformação estrutural na logística do Arco Norte e seus efeitos positivos para o território amazônico.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, J. V. G. A. et al. Multi-criteria Decision Support Method AHP-TOPSIS-2N applied in bids to improve the control of public expenses. *Procedia Computer Science*, v. 221, p. 362–369, 2023.

BABIE, E. *Métodos de pesquisa survey*. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2021.

BARRAT, A. et al. The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 101, n. 11, p. 3747–3752, 2004.

BRITO, T. et al. LCA of soybean supply chain produced in the state of Pará, located in the Brazilian Amazon biome. In: INTERNATIONAL ELECTRONIC CONFERENCE ON AGRONOMY, 1., 2021, [s.l.]. Anais... Basel: MDPI, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-9976/3/1/11>. Acesso em: 17 mar. 2025.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. *Arco Norte: um desafio logístico*. Brasília: Coordenação de Edições da Câmara dos Deputados, 2021.

CORRÊA, A. C. et al. Pesos dos critérios de competitividade das rotas de escoamento de soja do Mato Grosso com apoio do método de análise hierárquica. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL (PLURIS), 10., 2024, Guimarães. Anais... Guimarães: Universidade do Minho, 2024. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt/planning/Pluris2024/Atas/Papers/Paper910.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 5. ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2021.

DE ARAÚJO, M. L.; BECKER, B. K. Amazônia: geopolítica na virada do III milênio. *Ateliê Geográfico*, v. 5, n. 1, p. 269–275, 2011.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

HAIR JR., J. F. et al. Análise multivariada de dados. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows*, versão 29.0.2.0. Armonk, NY: IBM Corp., 2023.

IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Preços de frete de grãos, fertilizante e farelo. Cuiabá: IMEA, 2024. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/view/uploads/metodologia/soja/SojaPrecoFreteGraosFertilizanteFarelo.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

JOÃO, A. M. et al. Emissão de CO₂ na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo Arco Norte. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA), 18., 2016, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2016. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2017/11/EMISS%C3%83O%20DE%20CO2%20NA%20LOG%C3%8DSTICA%20DE%20EXPORTA%C3%87%C3%83O%20DE%20SOJA%20DO%20MATO%20GROSSO%20O%20CASO%20DAS%20EXPORTA%C3%87%C3%95ES%20PELO%20ARCO%20NORTE.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2025.

KURANT, M.; THIRAN, P. Extraction and analysis of traffic and topologies of transportation networks. *Journal of Transportation and Logistics Studies*, v. 14, n. 2, p. 198–214, 2006.

LI, Y. et al. Distribution of geothermal resources in Eryuan County based on entropy weight TOPSIS and AHP-TOPSIS methods. *Natural Gas Industry B*, v. 11, n. 2, p. 213–226, abr. 2024.

LIN, Q. et al. Evaluating the impact of Trans-Asian Railway on logistics mode selection between Thailand and China: an AHP-TOPSIS approach. *Alexandria Engineering Journal*, v. 98, p. 147–158, jul. 2024.

MALHOTRA, N. K.; NUNAN, D.; BIRKS, D. F. Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada. 7. ed. São Paulo: Bookman, 2020.

MENON, R. R.; RAVI, V. Using AHP-TOPSIS methodologies in the selection of sustainable suppliers in an electronics supply chain. *Cleaner Materials*, v. 5, p. 100130, set. 2022.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

NEWMAN, P. Weighted analysis of complex networks resulting from all possible paths: a GIS study combining topological information with network weight distribution. *Journal of Complex Networks*, v. 22, p. 123–145, 2004.

PAIVA, H.; PINTO, A. G. S.; OLIVEIRA, V. L.; MOURA, R. R. S.; FLEURY, A. P.; TOBIAS, M. S. G. Análise multivariada da influência da soja e infraestruturas nas transformações territoriais no Mato Grosso – Brasil. In: ANPET – Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 38., 2024, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANPET, 2024. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet/anpet-2024/autores?lang=pt-br>. Acesso em: 29 mar. 2025.

OGONOWSKI, P. Integrated AHP and TOPSIS method in the comparative analysis of the internet activities. *Procedia Computer Science*, v. 207, p. 4409–4418, 2022.

OLIVEIRA, A. L. R. D. et al. Logistical transportation routes optimization for Brazilian soybean: an application of the origin-destination matrix. *Ciência Rural*, v. 51, n. 2, e20190786, 2021.

ONTL. Cenário VIII – União dos cenários 1 a 7 Transformador & Cenário IX – Principais oportunidades para o desenvolvimento da rede de transporte nacional – Referencial. Brasília: ONTL, 2024. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/planejamento/shapefiles/>. Acesso em: 4 mar. 2024.

RAJPUT, V.; SAHU, N. K.; AGRAWAL, A. Integrated AHP-TOPSIS methods for optimization of epoxy composite filled with Kota stone dust. *Materials Today: Proceedings*, v. 50, p. 2371–2375, 2022.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting and resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. Sistema de banco de dados. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill Brasil, 2021.

TOBIAS, M. S. G. et al. Modeling the weights of competitiveness criteria of soybean routes in Mato Grosso using AHP-TOPSIS. In: ARAÚJO, M.; SANTOS, A. L.; JORIO, M.; GOLMARYAMI, S. (Org.), Proceedings of the 6th International Conference on Production Economics and Project Evaluation – ICOPEV, 6., 2024, Guimarães. Guimarães: ICOPEV, 2024a.

TOBIAS, M. S. G. et al. Modelo multimodal de rede de transporte da soja do Mato Grosso – Brasil. In: CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA – COPINAVAL, [s.l.], 2024, Veracruz. Veracruz: IPIN, 2024b.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. Agropecuária Brasileira: evolução, resiliência e oportunidades. Brasília: *Ipea*, 2023.

ZOMA, F.; SAWADOGO, M. A multicriteria approach for biomass availability assessment and selection for energy production in Burkina Faso: a hybrid AHP-TOPSIS approach. *Heliyon*, v. 9, n. 10, 2023.

ANEXO I – Questionário sobre Pesos e Critérios de Escolha

1. Identificação

Nome (opcional):	
Organização:	
Ocupação/ função:	
Celular / e-mail:	
Experiência na função/ ramo soja (anos)	

Marque o setor (atividade) que melhor descreve a sua organização:

Produtor de soja	☐	Governamental	☐
Embarcador	☐	Outros	☐
Transportador	☐	Qual? _____	☐

Descrição dos critérios:

1 - O **Padrão de viagem** corresponde à distância total da rota, o tempo total da rota, custos de transporte da rota ao número de viagens num período.

2 - O **Serviço da rota** inclui a entrega no prazo, a capacidade de reagir a alterações no ambiente de frete, nível de oferta de transporte, o nível de interferência no ambiente e a disponibilidade de informações de frete.

3 - A **Segurança** envolve a Nível percebido de segurança da rota contra acidentes de trânsito, existência de acostamento, assaltos a segurança veicular e a segurança portuária.

2. **Avaliação:** comparando as preferências entre critérios na escolha de uma rota de transporte.

Qual o critério preferível na escolha de uma rota e em que grau?

Escala: Preferência igual, moderada, alta, muito alta e absoluta

Critério	Preferência entre critérios									Critério
Padrão de viagem	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Serviços da rota
Padrão de viagem	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Segurança da rota
Serviços da rota	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Segurança da rota

Subcritério	Preferências entre subcritérios de padrões de viagem									Subcritério
Tempo	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Custo
Tempo	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Frequência
Custo	Importantíssimo	Muito importante	Importante	Moderado	Igual	Moderado	Importante	Muito importante	Importantíssimo	Frequência

Subcritério	Preferências entre subcritérios de serviço	Subcritério
Confiabilidade /Regularidade		Flexibilidade
Confiabilidade /Regularidade		Aspectos Ambientais
Confiabilidade /Regularidade		Informações de frete
Flexibilidade		Aspectos Ambientais
Flexibilidade		Informações de frete
Aspectos Ambientais		Informações de frete

Critério	Comparação entre subcritérios de segurança	Critério
Segurança da rota		Segurança do modo
Segurança da rota		Segurança portuária
Segurança do modo		Segurança portuária

ANEXO II - Questionário sobre Escolha de Rota

QUESTIONÁRIO

1. Identificação

Nome (opcional):	
Organização:	
Ocupação/ função:	
Celular / e-mail:	
Experiência na função/ ramo soja (anos)	

Marque o setor (atividade) que melhor descreve a sua organização:

Produtor de soja	☐	Governamental	☐
Embarcador	☐	Outros	☐
Transportador	☐	Qual? _____	☐

2. Avaliações das rotas

ATENÇÃO: Avalie somente as rotas que conhece.

Padrão de viagem das Rotas – o que voce conhece?	Horas	Frete (R\$/tku)	Frequência (Nº de viagens)		
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Serviço das rotas					
Confiabilidade das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Flexibilidade das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Regularidade das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Aspectos ambientais das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Disponibilidade de Informação de frete das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					

Segurança das rotas					
Segurança das Rotas (acidentes de trânsito, existência de acostamentos, assaltos, etc.)	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Segurança dos modos das Rotas (veicular)	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					
Segurança nos Portos das Rotas	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
R1: BR163 - Hidroviário a partir de Itaituba					
R2: BRs até Porto de Santos					
R3: BR 364 até Porto Velho – Hidroviário Rio Madeira					

OBSERVAÇÕES:



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



ARCLOG NORTE

