



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 5 E 6 / REPORT STEPS 5 AND 6:

- **FORMULAÇÃO E SIMULAÇÃO OPERACIONAL DAS REDES LOGÍSTICAS**
FORMULATION AND OPERATIONAL SIMULATION OF LOGISTICS NETWORKS
- **APRESENTAÇÃO DO MODELO ESTRATÉGICO**
PRESENTATION OF THE STRATEGIC MODEL



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 5 E 6 / REPORT STEPS 5 AND 6:

- **FORMULAÇÃO E SIMULAÇÃO OPERACIONAL DAS REDES LOGÍSTICAS**
FORMULATION AND OPERATIONAL SIMULATION OF LOGISTICS NETWORKS
- **APRESENTAÇÃO DO MODELO ESTRATÉGICO**
PRESENTATION OF THE STRATEGIC MODEL

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

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

Relatório Final - Etapas 5 e 6:

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 [livro eletrônico] : ARCLOG Norte : relatório etapas 5 e 6 : modelagem de demanda e análise de redes logísticas / coordenadora Maisa Sales Gama Tobias. -- 1. ed. -- Belém, PA : Ed. dos Autores, 2026.
ePub

Vários autores.
Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-02-11191-8

1. Amazônia 2. Logística (Organização) - Administração 3. Logística (Organização) - Custos 4. Logística (Organização) - Planejamento 5. Logística de transporte 6. Transporte I. Tobias, Maisa Sales Gama.

26-360897.1

CDD-388

Índices para catálogo sistemático:

1. Logística de transportes 388

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

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

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9635266655242384> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2613-0108>

Colaboradores:

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:

Elisangela da Silva dos Santos de Alencar – Rodofluvial 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:

Ana Paula Esteves Fleury - Apoio Técnico – FENAV/UFPA

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

Breno Martins Batista - Faculdade de Engenharia Civil - ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2633926307064865> Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-2694-4267>

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

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

Gustavo Akio Ueoka Osternack – Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4029670737434039> Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-4525-3721>

Luan Carlos Paiva Fiedler – Mestrado em Engenharia Civil – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6798341814290783> Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9056-0863>

Jullie Cristina Barbosa de Souza – Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5374497726411017> Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9722-758X>

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

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

Bolsistas PIBIC/PIBIC-AF/PIVIC UFPA/FAPESPA:

Ana Beatriz dos Santos Brito - Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6911479969950265> Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-1722-2838>

Adriela Amanda Silva Catarino - Engenharia Ferroviária e Logística - ITEC/UFPA

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8934654062318241> Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3891-9330>

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

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

Allan Sabá Peralta Castro - Engenharia Ferroviária e Logística - ITEC/UFPA

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3614642174580711> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-4733-8574>

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>

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

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

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

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

Colaboradores discentes:

Álisson Sousa da Silva – Mestrado em Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8147454419603936> Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-7063-0567>

Igor Eduardo Fernandes dos Anjos – Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1582084835258184> Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-5252-2347>

Roseane Costa Ewerton - Mestranda em Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1582084835258184> Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3238-5717>

Thayana Lima da Silva – Faculdade de Engenharia Naval – ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8934654062318241> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8708-0344>

Adriano Silva Ferreira - Mestrado em Engenharia Naval - ITEC/UFPA

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0123819049575703> Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-9045-2608>

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. Segundo a CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, a safra brasileira de grãos de 2025/26 deverá ultrapassar os 350 milhões de toneladas, estabelecendo um novo recorde histórico. No caso da soja, o Brasil consolidou a sua posição de maior produtor mundial com a expectativa de se ultrapassarem os 170 milhões de toneladas na safra de 2025/26, também um máximo histórico. Por outro lado, os custos de frete seguem pressionados pela volatilidade dos preços dos combustíveis, pela deficiente infraestrutura rodoviária e pela sazonalidade da produção e escoamento dos grãos para os portos de exportação. 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 seguiu em vertentes que envolvem modelagem multicritério, admitindo incertezas, mediante uma região em expansão de fronteiras. A metodologia envolveu 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*, convertidos em medidas de desempenho, representadas numa matriz de decisão e; a partir desta, a análise da 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, obtiveram-se as melhores alternativas e os portos mais competitivos e; por fim, a definição da rede logística ótima e de possíveis investimentos foi 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 ArcGIS. Os resultados deste projeto incluem a identificação dos principais atributos da infraestrutura de transporte, a análise dos principais fatores que determinam a viabilidade econômica dos investimentos necessários, o mapeamento das origens e destinos das cargas — incluindo a saturação portuária e possíveis sobreposições nos fluxos de exportação — e o apoio ao planejamento estratégico através de simulações e estimativas de fluxo. Estes resultados contribuem para o desenvolvimento de estratégias que visam a melhoria da utilização da infraestrutura portuária e a redução dos custos logísticos globais.

ABSTRACT 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. According to CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, in Portuguese – the Brazilian grain harvest for 2025/26 is expected to exceed 350 million tons, setting a new historical record. In the case of soybeans, Brazil has consolidated its position as the world's largest producer, with expectations of surpassing 170 million tons in the 2025/26 harvest, also a historical high. Furthermore, freight costs remain pressured by volatile fuel prices, poor road infrastructure, and the seasonality of grain production and transportation to export ports. 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 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 5 E 6

Este relatório final de 2025 foi concebido como documento-síntese do projeto ARCLOG Norte, reunindo, de forma integrada, os principais fundamentos, procedimentos metodológicos e resultados desenvolvidos ao longo das etapas anteriores, ao mesmo tempo em que confere maior ênfase às Etapas 5 e 6, correspondentes, respectivamente, à formulação e simulação operacional das redes logísticas e à consolidação do modelo estratégico final. Dessa forma, o documento foi estruturado para permitir leitura autônoma, sem depender da consulta aos relatórios parciais de 2023 e 2024, preservando, contudo, a continuidade analítica e metodológica construída ao longo de toda a pesquisa. Considerando o caráter cumulativo e progressivo das seis etapas do projeto, optou-se por organizar o relatório de 2025 como um relatório final-síntese, incorporando uma retomada dos fundamentos, procedimentos e resultados parciais já alcançados, de modo a assegurar unidade documental, inteligibilidade autônoma e visão integrada do percurso investigativo. Sobre essa base, o presente volume enfatiza as etapas finais do projeto, nas quais se concentram a validação operacional das alternativas logísticas prospectadas, a identificação dos principais gargalos e condicionantes de desempenho, a formulação de cenários estratégicos e a hierarquização de investimentos. Após a concretização das etapas 1 a 4, a Etapa 5 representou o momento em que as alternativas de redes intermodais, anteriormente modeladas e analisadas, foram submetidas a uma leitura de natureza operacional, incorporando variáveis como capacidade modal, tempo de percurso, espera, transbordo, carga e descarga. No seguimento, a Etapa 6 correspondeu ao fechamento interpretativo e propositivo da pesquisa, consolidando os resultados obtidos em um modelo estratégico voltado ao planejamento logístico do Arco Norte, com apoio em cenários, análise de sensibilidade e identificação de investimentos prioritários. Nessa mesma direção, a etapa final incorporou ainda a apreciação dos impactos associados aos projetos de redes propostos e a organização de subsídios técnicos voltados ao apoio à decisão por parte de agentes públicos e privados. Assim, este relatório final, além de registrar a conclusão formal do projeto, explicita e transforma o conjunto de evidências produzidas em subsídios concretos para o planejamento e para a tomada de decisão, apresentando propostas de aprimoramento da eficiência logística regional.

PRESENTATION – STEPS 5 AND 6

This final 2025 report was conceived as a synthesis document of the ARCLOG Norte project, bringing together, in an integrated manner, the main foundations, methodological procedures, and results developed throughout the previous stages, while placing greater emphasis on Stages 5 and 6, which correspond, respectively, to the operational formulation and simulation of logistics networks and to the consolidation of the final strategic model. In this sense, the document was structured to allow for autonomous reading, without requiring consultation of the partial reports produced in 2023 and 2024, while still preserving the analytical and methodological continuity built throughout the research process. Given the cumulative and progressive nature of the project's six stages, the 2025 report was organized as a final synthesis report, incorporating a structured recovery of the main foundations, procedures, and partial results previously achieved, to ensure documentary unity, autonomous intelligibility, and an integrated view of the overall research trajectory. On this basis, the present volume highlights the project's final stages, where the validation of the proposed logistics alternatives, the identification of the main bottlenecks and performance constraints, the formulation of strategic scenarios, and the prioritization of investments are concentrated. Following the completion of stages 1 to 4, stage 5 involves subjecting the previously modelled and analysed intermodal network alternatives to an operational assessment. This incorporates variables such as modal capacity, travel time, waiting time, transfers, and loading and unloading. Stage 6 then follows, providing an interpretive and propositional conclusion to the research. This involves consolidating the results obtained into a strategic model focused on the logistics planning of the Arco Norte. This model is backed up by scenarios, sensitivity analysis and the identification of priority investments. Similarly, the final stage incorporates an assessment of the impacts associated with the proposed network projects, as well as the organisation of technical inputs to support decision-making by public and private stakeholders. Thus, in addition to marking the formal conclusion of the project, this final report clarifies and transforms the body of evidence produced into concrete inputs for planning and decision-making, presenting proposals to improve regional logistics efficiency.

SUMÁRIO

1 A PESQUISA ARCLOG NORTE	13
1.1 Contextualização do Projeto	12
1.2 Estrutura do Relatório	14
1.3 Trajetória Investigativa: das Bases Diagnósticas à Modelagem Estratégica	15
1.4 As Etapas Finais: Validação Operacional e Consolidação Estratégica	16
1.5 Relevância, Contribuições e Potencial de Impacto	17
2 METODOLOGIA	20
2.1 Abordagem Metodológica	22
2.2 Análise de Clusters para Segmentação de Regiões Produtivas	23
2.3 Técnicas de Tomada de Decisão Multicritério (AHP-TOPSIS)	24
2.4 Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Modelagem Logística	25
3 FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS E DA BASE ANALÍTICA	28
3.1 Estratégia de Levantamento de Dados	29
3.2 Pesquisa Documental	30
3.3 Pesquisa de Campo	34
3.4 Estruturação e Validação do Banco de Dados	37
4 CONSOLIDAÇÃO DE RESULTADOS DAS ETAPAS ANTERIORES	40
4.1 Bases e Diagnóstico (Etapas 1 e 2)	40
4.2 Modelagem de Demanda e Segmentação Territorial (Etapa 3)	44
4.3 Análise das Redes Logísticas e Cenários de Infraestrutura (Etapa 4)	47
4.4 Síntese Integrada e Encadeamento para as Etapas 5–6 de 2025	48
5 FORMULAÇÃO E SIMULAÇÃO OPERACIONAL DAS REDES LOGÍSTICAS (ETAPA 5)	51
5.1 Premissas e Parâmetros da Simulação Operacional	51
5.2 Simulação dos Fluxos e Desempenho das Rotas	53
5.3 Gargalos e Análise Comparativa dos Corredores	63
5.4 Síntese dos Resultados Operacionais e Encadeamento para o Modelo Estratégico	67
6 APRESENTAÇÃO DO MODELO ESTRATÉGICO (ETAPA 6)	72
6.1 Consolidação dos Resultados da Simulação	72
6.2 Cenários Estratégicos e Sensibilidade do Modelo	74
6.3 Investimentos Prioritários e Impactos Esperados	76
6.4 Síntese Final do Modelo Estratégico	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS	89

A PESQUISA ARCLOG NORTE



1 A PESQUISA ARCLOG NORTE

1.1 Introdução

O Projeto ARCLOG NORTE – Modelo Estratégico de Análise e Formação de Redes de Transportes na Amazônia como Alternativa de Redução do Custo Brasil chega, em 2025, ao seu ciclo final, consolidando três anos de investigação científica multidisciplinar dedicada a um dos maiores entraves estruturais da economia brasileira: a ineficiência logística que compromete a competitividade do agronegócio no cenário internacional, sobretudo no escoamento das commodities produzidas no Centro-Oeste. Diferentemente dos volumes anteriores, este relatório apresenta a culminância do processo, ao sintetizar as Etapas 5 e 6 – isto é, a validação operacional do modelo proposto e a consolidação de um modelo estratégico definitivo, com testes de sensibilidade e análise integrada de impactos. Mais que um compêndio de resultados, trata-se de um instrumento de apoio à decisão para planejamento e investimentos no Arco Norte, elaborado com base em evidências.

A gênese do projeto emerge de uma contradição fundamental da economia nacional: enquanto o Brasil consolida sua posição como potência agrícola global – com destaque para a produção de soja, onde detém liderança mundial –, mantém-se refém de um sistema de transporte historicamente dependente do modal rodoviário e de longos corredores de escoamento para os portos do Sul e Sudeste. Essa dissonância operacional configura o que se convencionou chamar de "Custo Brasil", um conjunto de obstáculos estruturais que oneram em até 25% os custos logísticos nacionais e comprometem substantivamente a competitividade externa do país (CNT, 2015; BRASIL, 2021).

O “Custo Brasil” pode ser entendido como um exemplo particular de custos de contexto, isto é, custos adicionais suportados pelas empresas em resultado das condições institucionais, económicas, regulatórias, logísticas e estruturais do ambiente em que operam, e não diretamente decorrentes dos processos de produção e de negócio da empresa. Em termos económicos, os custos de contexto correspondem aos encargos associados ao enquadramento externo da atividade empresarial, incluindo fatores como burocracia administrativa, carga tributária complexa, ineficiências logísticas, custos de financiamento, insegurança jurídica, volatilidade cambial, dificuldades infraestruturais ou limitações regulatórias. Estes custos afetam a competitividade das empresas e podem reduzir a eficiência económica, mesmo quando as organizações apresentam níveis

elevados de produtividade. No caso brasileiro, o conceito de “Custo Brasil” tornou-se amplamente utilizado para descrever o conjunto de obstáculos estruturais e institucionais que aumentam os custos de operação e investimento no país, afetando particularmente setores intensivos em transporte e exportação, como o agronegócio e a indústria transformadora. Entre os principais fatores associados ao Custo Brasil destacam-se as deficiências na infraestrutura de transportes e portuária, a elevada complexidade fiscal e tributária, os custos logísticos, a burocracia administrativa e a insegurança regulatória.

1.2 O Cenário que deu Origem ao Projeto

Desde o início, o projeto ARCLOG NORTE foi impulsionado por uma pergunta prática: como a universidade poderia ajudar a transformar a logística da Amazônia em um vetor de desenvolvimento real para o país? A proposta enviada ao CNPq em 2022 já deixava claro que não se tratava apenas de um exercício acadêmico, mas de um esforço para traduzir conhecimento complexo em soluções tangíveis para os gestores que enfrentam os desafios do dia a dia (CNPq/MCTI/FNDCT nº 15/2022).

Os números à época mostravam um paradoxo difícil de ignorar. De um lado, o campo batia recordes: a produção de grãos crescia 5,7%, chegando a 271,7 milhões de toneladas, com a soja registrando aumentos expressivos em produtividade e volume. De outro, a logística parecia arrastar-se no passado – os custos de transporte subiam 12% no mesmo período, corroendo a competitividade conquistada com tanto esforço pelos produtores (CNT, 2021; IBGE, 2022b).

Foi com essa visão integrada que o projeto ARCLOG NORTE tomou forma, propondo-se a criar não apenas um estudo, mas um verdadeiro modelo estratégico para planejar redes logísticas que funcionassem de fato na complexa realidade amazônica. Desde o primeiro dia, a pesquisa abraçou um compromisso claro: unir o rigor científico com as necessidades práticas do território, entendendo que relatórios técnicos detalhados seriam insuficientes se não considerassem as pessoas, o meio ambiente e a economia local de forma equilibrada (Frigotto, 1995; Banerjee; Duflo; Qian, 2020).

O trabalho começou a ganhar corpo em 2023, com as Etapas 1 e 2 dedicadas a construir um diagnóstico confiável. Foi uma fase de muito aprendizado, em que mergulhamos nos dados socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura da região. O resultado foi a criação de um amplo banco de informações sobre corredores logísticos, portos e o movimento da produção – mas também a confirmação de velhos conhecidos

problemas: estradas em condições precárias e uma quase inexistente integração entre diferentes modos de transporte, como rodovias, ferrovias e hidrovias (Vale; Freitas; Pinheiro, 2016; CNT, 2018).

Em 2024, as Etapas 3 e 4 trouxeram uma guinada metodológica. A partir da modelagem da demanda e da análise das redes logísticas, aplicaram-se técnicas de agrupamento (clusters), métodos de decisão multicritério (AHP-TOPSIS) e simulações que revelaram, entre outros achados, a centralidade da BR-163 combinada com a hidrovia Tapajós-Amazonas como rota competitiva. Ficou evidente que os custos de transporte são o fator decisivo para a escolha logística, mas também emergiram variáveis como frequência e previsibilidade, reforçando a necessidade de ampliar investimentos em ferrovias e hidrovias (Higa et al., 2023; Vieira Filho; Gasques, 2023).

Agora, em 2025, o projeto chega às Etapas 5 e 6, momento de fechamento e de síntese. É aqui que os modelos são testados em condições operacionais, validados em diferentes cenários e consolidados em um modelo estratégico final. Esse relatório, portanto, não se limita a apresentar resultados parciais: ele reúne três anos de pesquisa, análise e discussão, e propõe soluções práticas para o futuro da logística amazônica.

1.3 Trajetória Investigativa: das Bases Diagnósticas à Modelagem Estratégica

A execução do projeto seguiu cronograma rigoroso organizado em seis etapas sequenciais ao longo de 36 meses, conformando uma jornada investigativa crescente em complexidade e profundidade analítica.

Ao longo dos primeiros 2 anos, 2023 e 2024, foram realizadas as etapas 1 a 4 e apresentadas detalhadamente nos dois relatórios anteriores:

- *Etapa 1. Levantamento e Formação de Banco de Dados*
- *Etapa 2. Caracterização Diagnóstica da Demanda, dos Custos de Transportes Envolvidos e os Arranjos Logísticos atuais de transporte*
- *Etapa 3 – Modelagem e Análise da Rede Logística*
- *Etapa 4 – Análise da Rede Logística*

Em síntese, as etapas 1 e 2 (2023) dedicaram-se à construção das bases diagnósticas do projeto. Através de levantamento extensivo de dados secundários e trabalho de campo qualificado, consolidou-se um banco de dados abrangente sobre infraestrutura de transportes, dinâmica produtiva da soja no Mato Grosso – estado

responsável por 28% da produção nacional – e custos logísticos associados aos diferentes corredores de escoamento (IBGE, 2022b). Este esforço inicial permitiu mapear gargalos históricos, dentre os quais se destacava a excessiva dependência do modal rodoviário, responsável por 85,7% das escolhas logísticas de acordo com a CNT (2015), apesar de sua reconhecida ineficiência para longas distâncias com cargas de baixo valor agregado.

No seguimento, as etapas 3 e 4 (2024) elevaram o patamar analítico através da modelagem matemática e simulação de cenários. A aplicação de técnicas de análise multivariada, clusterização hierárquica e métodos de decisão multicritério (AHP-TOPSIS) permitiu identificar e hierarquizar os atributos determinantes na seleção de rotas logísticas. Os resultados revelaram a preponderância do custo de transporte (38,29%) como fator decisório, seguido pela frequência de serviço (17,39%) e segurança portuária (6,99%). Simulações de cenários de investimento demonstraram que a intermodalidade é essencial para ganhos substantivos de eficiência, com destaque para a rota BR-163 + Hidrovia Tapajós-Amazonas como a mais competitiva nas condições operacionais atuais (Higa et al., 2023; Vieira Filho & Gasques, 2023).

1.4 As Etapas Finais: Validação Operacional e Consolidação Estratégica

As Etapas 5 e 6 (2025), objeto central deste relatório final, representam o ápice metodológico do ARCLOG NORTE. Se as fases anteriores se dedicaram à compreensão sistêmica e modelagem teórica do problema logístico, esta etapa final orienta-se para a validação empírica, síntese estratégica e transferência aplicada do conhecimento.

A Etapa 5 (*Formulação e Simulação Operacional das Redes Logísticas*) aprofundou a análise através de simulações dinâmicas de alta complexidade que incorporaram variáveis operacionais críticas frequentemente negligenciadas em modelos convencionais: sazonalidade da produção agrícola, variações na capacidade portuária, condições hidroviárias sazonais e cenários macroeconômicos alternativos. Utilizando ferramentas de modelagem baseadas em teoria de grafos e otimização via ArcGIS, testou-se a resiliência das redes propostas frente a flutuações de demanda, restrições ambientais e eventos disruptivos, permitindo calibragem fina do modelo ante as incertezas inerentes à região amazônica (Branco et al., 2021; Ebrahimnejad, 2016).

A Etapa 6 (*Apresentação do Modelo Estratégico*) consistiu na consolidação definitiva do instrumento estratégico propriamente dito. O modelo final foi submetido a testes de sensibilidade rigorosos que avaliaram sua robustez frente a variações em

parâmetros críticos: volatilidade nos preços de combustíveis, alterações nas políticas de comércio exterior, evolução tecnológica dos modais de transporte e implementação de mecanismos de precificação de carbono. O resultado transcende um simples mapa logístico ideal: configura-se como um painel de simulação dinâmico capaz de projetar desempenhos operacionais sob diferentes trajetórias de desenvolvimento regional e global (Valverde & Paiva Jr, 2018; Ghanbari et al., 2020).

1.5 Relevância, Contribuições e Potencial de Impacto

A relevância deste relatório final manifesta-se em três dimensões complementares:

- A. *Dimensão Científica:* O projeto avança a fronteira do conhecimento ao integrar métodos de análise multicritério, modelagem de redes complexas e avaliação de sustentabilidade em contexto de expansão de fronteiras econômico-logísticas. A aplicação de técnicas de Programação Linear Fuzzy à realidade amazônica representa contribuição metodológica significativa para o campo dos estudos de transportes em regiões em desenvolvimento.
- B. *Dimensão Técnica:* O modelo estratégico oferece instrumento concreto para gestores públicos e privados priorizarem investimentos em infraestrutura com base em evidências robustas. A identificação de que a extensão da Ferrovia Ferronorte até Sorriso (MT) pode reduzir custos médios de transporte em até 35% ilustra o potencial transformador das ferramentas desenvolvidas.
- C. *Dimensão Política:* No campo das políticas públicas, é desenvolvida uma base técnica sólida para orientar decisões que conciliam o desenvolvimento logístico com a preservação do nosso planeta. Ao demonstrar, com dados concretos, que a integração de modais de transporte – especialmente com o uso inteligente das hidrovias – pode reduzir significativamente as emissões de carbono no escoamento de grãos, o projeto coloca-se no centro de um debate urgente: como tornar o setor de transportes mais eficiente e, ao mesmo tempo, mais verde. Mostramos que competitividade econômica e responsabilidade ambiental não são apenas compatíveis; podem e devem andar juntas (Vidal & Santos, 2022; Oliveira et al., 2021a).

Dessa forma, o ARCLOG NORTE confirma sua essência: é um trabalho que nasceu da união de diferentes saberes e que carrega um profundo compromisso com a

aplicação prática. Ele confirma uma crença fundamental: o saber científico, quando é construído em conjunto e com atenção aos desafios reais, se transforma em um instrumento poderoso – verdadeiramente essencial – para traçar rotas de crescimento que sejam ao mesmo tempo prósperas e sustentáveis para a região. Este relatório, portanto, vai muito além de um estudo teórico. Ele se propõe a ser uma ferramenta prática e útil, um guia para efetivamente transformar a logística na Amazônia. E, ao fazer isso, contribui diretamente para enfrentarmos um dos maiores obstáculos ao nosso desenvolvimento: o Custo Brasil, que há gerações trava o potencial econômico do país.

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 unidisciplinar.

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, reforçando o que já foi referido no capítulo anterior, é constituído das seguintes seis 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 diagnóstico, 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 desta etapa.

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 a 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, haverá um seminário científico e os atores envolvidos na questão, 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 das alternativas de redes intermodais prospectadas, frente a cenários econômicos e de desenvolvimento de região, com os respectivos investimentos. Apresentação de Relatório Preliminar 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 foi demarcada com a produção de artigos científicos e dissertações, apresentando os resultados. Ao final desta etapa, houve 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, relativo às etapas finais 5 e 6 realizadas em 2025, são apresentados os avanços da pesquisa em a *Modelagem e Análise das Redes Logísticas* e *Análise das Redes Logísticas*.

As etapas anteriores encontram-se detalhadas nos dois relatórios anteriores, dos anos de 2023 e 2024, e que pode ser visto pelo repositório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval através do link:

<https://ppgenav.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Relat%C3%B3rio%20ARCLOG%20vers%C3%A3o%20final.pdf>.

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. Assim, adotou-se uma abordagem metodológica multidisciplinar e quantitativa, para garantir uma modelagem robusta, foram 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 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

A metodologia aplicada permitiu estruturar um modelo estratégico para avaliação da competitividade logística da região, identificando padrões de transporte e propondo soluções eficientes para a redução dos custos logísticos. 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.

- A implementação do modelo utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite a georreferenciação das rotas e a integração de variáveis logísticas. A análise espacial da rede multimodal possibilitou identificar gargalos e avaliar potenciais melhorias na infraestrutura.

Mediante a 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 nas várias secções seguintes.

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.
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 – Foi utilizada a 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, é utilizada a combinação dos métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

O AHP foi empregado 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.

Assim, 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. Esse método 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 é a classificação das rotas e portos mais competitivos, servindo como base para recomendações estratégicas no projeto. Os principais resultados obtidos permitiram:

- Identificar as rotas mais eficientes para exportação da soja, baseadas em critérios objetivos.
- Efetuar uma classificação hierárquica dos portos do Arco Norte, determinando aqueles que oferecem maior vantagem competitiva.

Essa abordagem garantiu uma análise quantitativa sólida 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. Assim, 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 Junior

et al., 2024; Tobias et al., 2024a, 2024b). O Seminários está disponível na publicação do projeto ARCLOG Norte no LinkedIn.

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.

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 bases analíticas 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, consequentemente, 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 sintética, 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 subsequentes.

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, entre as quais o SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE, 2024), 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 na tabela do 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 as várias fontes e as variáveis relevantes, bem como os links que disponibilizam o acesso a cada fonte.

Quadro 1: Fontes Secundárias Consultadas

FONTE	VARIÁVEL	LINK
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@: panorama dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 2022a.	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, 2022b.	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, 2022c.	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?edicao=34923&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, 2023c.	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/shapfiles/ .	TKU por km ² - Densidade de tráfego de carga - PNL2035 - cenário Base 2017	https://www.infrasa.gov.br/ontl/planejamento/shapfiles/ .
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022d.	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) Atlas 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, 2022b.	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 INDÚSTRIA-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
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/acesso-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/acesso-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/acesso-a-informacao/dados-abertos/inep-data/estatisticas-censo-escolar
Atlas Brasil. Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação da Agropecuária no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação da Indústria no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. 2024	Participação dos Serviços no Valor Adicionado Bruto 2016 (RAIS)	http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha
Atlas Brasil. Atlas 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 - Sistema IBGE de Recuperação Automática, 2024.	Produção de Soja, ton	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática, 2024.	Produto Interno Bruto a preços correntes, R\$	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021.	População Residente; hab	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html
IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023.	PIB per cápita- R\$/hab	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html
SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática, 2024.	Valor da produção extrativa vegetal, R\$	https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289
INFRA S.A, 2024	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

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 stakeholders do setor logístico. Essa etapa envolveu visitas técnicas a infraestruturas logísticas estratégicas e permitiu realizar 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 Miratituba (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 das visitas foram:

- Avaliar a capacidade operacional dos terminais logísticos.
- Identificar desafios enfrentados no escoamento da produção agrícola.
- Analisar as condições de infraestrutura e transporte multimodal.

As principais observações incluem 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 1 algumas imagens recolhidas durante a viagem realizada pelo grupo de pesquisa em março de 2024, em que se identifica para cada uma o local em que ela foi tirada.

b) Entrevistas com *Stakeholders*

Em vários momentos das visitas técnicas, 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.



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

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 Junior 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 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 pelo linkedin.

O webinar permitiu analisar e validar de forma interna e externa, tendo em conta a participação dos pesquisadores do projeto e de peritos externos ao mesmo, o resultado feito pela pesquisa de campo.

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 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 que os resultados da pesquisa servissem de base para futuras ações estratégicas e formulação de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura logística da região.

CONSOLIDAÇÃO DE RESULTADOS DAS ETAPAS ANTERIORES (1-4)

4 CONSOLIDAÇÃO DE RESULTADOS DAS ETAPAS ANTERIORES (1-4)

Este capítulo sintetiza, de forma integrada, os principais resultados das etapas já concluídas do projeto ARCLOG NORTE e estabelece a ponte metodológica para as Etapas 5 e 6 desenvolvidas em 2025, e que são a essência deste terceiro relatório do projeto. Ao recuperar os resultados das Etapas 1 e 2 (Base de Dados e Diagnóstico) e das Etapas 3 e 4 (Modelagem de Demanda e Análise de Redes), este capítulo do presente relatório permite consolidar o encadeamento lógico da pesquisa e os insumos técnicos que fundamentam as simulações operacionais e a proposição do modelo estratégico final.

4.1 Bases e Diagnóstico (Etapas 1 e 2)

Esta seção amplia, detalha e qualifica os resultados das Etapas 1 e 2 executadas em 2023, explicitando os objetivos propostos, as estratégias metodológicas adotadas, os produtos gerados e as lições metodológicas que alicerçam as etapas subsequentes do projeto (2024–2025). O enfoque é duplo: (i) demonstrar a aderência das entregas ao que foi originalmente pactuado no projeto; e (ii) explicitar como o conjunto de bases de dados, diagnósticos e validações com stakeholders constituíram um arcabouço robusto para a modelagem e a análise comparativa de redes logísticas.

As Etapas 1 e 2 foram estruturadas para cumprir dois objetivos complementares. O primeiro, de natureza instrumental, consistiu na formação de um banco de dados georreferenciado e auditável capaz de alimentar, sem lacunas, as frentes analíticas do projeto — demanda, custos generalizados, infraestrutura e arranjos logísticos. O segundo, de natureza analítico-propositiva, concentrou-se na caracterização diagnóstica da logística de grãos (com ênfase na soja do Mato Grosso), na identificação de gargalos e oportunidades e na abertura de um ciclo de diálogo técnico com os principais atores do sistema (operadores, terminais, gestores públicos e comunidade acadêmica). Essa lógica de encadeamento garantiu que o esforço de coleta não fosse um fim em si, mas a base para análises e priorizações.

Do ponto de vista de governança, foi estabelecida uma matriz de responsabilidades que integrou equipes acadêmicas e parceiras empresariais, propiciando capilaridade territorial e consistência temática. Esse arranjo viabilizou, já em 2023, a convergência entre dados secundários, verificação em campo e validação por pares, reduzindo o risco de decisões apoiadas em informações desatualizadas ou não representativas da realidade regional.

A Etapa 1 organizou-se em quatro frentes operacionais: (a) revisão documental e coleta de bases oficiais; (b) estruturação de um SIG temático e unificação de camadas; (c) consolidação econômico-produtiva com foco em origens e destinos de grãos; e (d) caderno de metadados e diretrizes de qualidade para uso futuro.

a) *Revisão e coleta*: procedeu-se um levantamento sistemático de fontes públicas e privadas, incluindo estatísticas demográficas, socioeconômicas e de produção agropecuária; inventários de infraestrutura rodoviária, ferroviária e hidroviária; cadastros de terminais e portos (com atributos operacionais e de segurança); e documentos programáticos (planos e estudos setoriais). Para cada fonte, registraram-se escopo, cobertura temporal, granularidade, licença de uso e limitações conhecidas. Esse cuidado assegurou rastreabilidade e comparabilidade entre camadas.

b) *SIG e unificação de camadas*: a base espacial foi construída em ambiente ArcGIS, com georreferenciamento padronizado e controle de versões. As camadas fundamentais reuniram: rede física (eixo viário federal e estadual, acessos portuários e faixas de domínio relevantes); hidrovias navegáveis e trechos críticos; ferrovias em operação e projetadas; localização de portos e terminais (públicos e TUPs), com atributos de calado, restrições sazonais e capacidades estimadas; pontos de consolidação e transbordo; e áreas de produção agrícola mapeadas por municípios e microrregiões. Foram adotados códigos únicos por ativo/logradouro, permitindo vinculação direta com tabelas de custos, eventos operacionais e indicadores de desempenho.

c) *Consolidação econômico-produtiva*: a base tabular integrou séries de produção, produtividade, estoque e destinos de exportação, com ênfase no Mato Grosso e nos corredores de escoamento direcionados aos portos do Arco Norte. A estrutura privilegiou variáveis comparáveis entre corredores (distância efetiva, custo médio por tonelada-quilômetro, tempos médios e variância de travessias críticas), abrindo caminho para, posteriormente, a aplicação de métodos de decisão multicritério.

d) *Metadados e qualidade*: foi elaborado um caderno de metadados contendo nomenclatura, dicionários de variáveis, regras de preenchimento, padrões de atualização e trilhas de auditoria. Estabeleceu-se, ainda, um protocolo de validação com três níveis: (i) verificação sintática e coerência interna; (ii) consistência cruzada entre camadas (por exemplo, conferência de interseções entre rede viária e pontos de transbordo); e (iii) validação de plausibilidade por especialistas e operadores.

e) *Produtos gerados*: na Etapa 1, destacam-se: (i) repositório SIG com camadas temáticas e chaves de integração; (ii) tabelas mestras de custos e tempos de transporte por combinação rota–porto; (iii) inventário de terminais e portos com atributos operacionais; (iv) fichas de corredores com síntese narrativa e indicadores; e (v) memorial metodológico de coleta e validação. Esses produtos foram parcialmente incorporados aos capítulos iniciais do relatório e constituem a base de dados de referência para o ciclo de modelagem.

A leitura integrada das camadas permitiu identificar padrões estruturantes relevantes: (1) elevada dependência rodoviária em trechos longos até o primeiro ponto intermodal, aumentando o custo total e a variância dos tempos de viagem; (2) gargalos localizados em acessos portuários e segmentos urbanos com conflitos de tráfego; (3) restrições sazonais em hidrovias associadas a calados variáveis, exigindo planejamento fino de janelas de operação; e (4) assimetrias de informação e de qualidade de dados entre órgãos e fontes, justificando o investimento no caderno de metadados e na checagem cruzada sistemática.

Nesta etapa, emergiram evidências de que o adensamento logístico no Arco Norte avançou de forma heterogênea entre eixos, com terminais apresentando capacidades distintas e graus variados de integração com a malha rodoviária e (onde existente) ferroviária. Essas constatações fundamentaram a priorização de cenários a serem testados nas etapas posteriores (ferrovias complementares, melhorias de acessos e dragagens seletivas).

A Etapa 2 traduziu a base instrumental em diagnósticos e hipóteses operacionais. Ela combinou análises quantitativas, revisão de literatura focada e validação por meio de comunicação técnica e de um evento dedicado de engajamento em novembro/2023 em instituição parceira. O desenho metodológico contemplou três blocos de atividades:

(i) *Diagnóstico de rede e custos*: foram produzidos mapas síntese de corredores com métricas comparáveis de distância útil, tempo médio porta-a-porta, pontos de transbordo, níveis de serviço e custos totais estimados sob diferentes combinações modais. Essa visão multicritério revelou redundâncias e vulnerabilidades e destacou a vantagem relativa das soluções intermodais que encurtam o trecho rodoviário inicial e externalizam volumes para hidrovia e ferrovia.

(ii) *Análise de políticas, planos e projetos em execução:* a análise documental sistematizou a carteira de investimentos e ações estruturantes em curso ou planejadas (duplicações rodoviárias, ferrovias de conexão, melhorias hidroviárias, expansão de terminais). O cotejo entre o que consta dos planos e o que se observou na base SIG permitiu identificar desalinhamentos temporais e geográficos, úteis para os exercícios de priorização.

(iii) *Escuta estruturada de atores setoriais e validação:* culminando o ciclo de 2023, realizou-se um evento técnico com participação de especialistas, representantes de empresas parceiras e academia, onde foram apresentadas as sínteses diagnósticas, coletadas contribuições e validadas premissas para a transição à modelagem. O formato privilegiou trocas diretas e registro de recomendações práticas, como a importância de padronização de janelas de operação em determinados trechos hidroviários e a necessidade de intervenções nos acessos terrestres de alguns terminais estratégicos.

Como resultados específicos apresentados no primeiro relatório do projeto, referente às atividades que decorreram em 2023, devem ser destacados os seguintes:

- Banco de dados georreferenciado consolidado, com camadas integradas e dicionário de variáveis;
- Inventário padronizado de portos e terminais do Arco Norte, com atributos logísticos relevantes;
- Tabelas comparativas de custos e tempos por corredor e por combinação modal;
- Mapas analíticos de corredores com identificação de gargalos e oportunidades;
- Relatório parcial com capítulos temáticos (introdução setorial, metodologia, base de dados e diagnóstico);
- Comunicação técnica pública e evento de validação com *stakeholders*;
- Lista priorizada de hipóteses e cenários para a modelagem (2024) e para a simulação operacional (2025).

As atividades realizadas em 2023 permitiram consolidar um conjunto de boas práticas que passaram a orientar as fases subsequentes de modelagem e análise comparativa. Dentre elas: (a) integração nativa entre SIG e planilhas de custos/tempos; (b) uso disciplinado de metadados e controle de versões; (c) validação iterativa com atores

de mercado para calibrar parâmetros; e (d) documentação transparente das hipóteses de trabalho. Esse arcabouço metodológico reduziu incertezas, aumentou a reprodutibilidade das simulações e fortaleceu a legitimidade dos resultados.

Como em todo projeto com forte dependência de dados secundários e de obras em andamento, algumas limitações foram observadas: (i) desatualização pontual de séries; (ii) heterogeneidade de granularidade espacial/temporal entre fontes; (iii) indisponibilidade pública de algumas informações operacionais sensíveis. Para mitigar essas limitações, adotaram-se rotinas de atualização semestral, interpolação conservadora quando admissível e consultas a especialistas para verificação de plausibilidade. Adicionalmente, os resultados foram comunicados sempre com faixas de variação e notas metodológicas.

Tendo em conta os resultados e os contributos para as fases seguintes, importa salientar que as Etapas 1 e 2 cumpriram integralmente o papel de preparar o terreno analítico do projeto. A base de dados deu suporte objetivo às discussões sobre competitividade logística, enquanto o diagnóstico sistematizou problemas e alternativas, alimentando a agenda de modelagem com parâmetros e cenários aderentes à realidade. Em síntese, as atividades realizadas durante 2023 permitiram, não apenas um repositório de dados e um relatório parcial, um consenso mínimo entre atores sobre onde estão os gargalos e por onde passam as soluções, o que explica a fluidez das atividades do projeto realizadas nas fases seguintes.

4.2 Modelagem de Demanda e Segmentação (Etapa 3)

Esta secção e a seguinte ampliam e qualificam os resultados das Etapas 3 e 4, executadas durante o ano de 2024, com base no que foi proposto no projeto de investigação e consubstanciado no respetivo relatório. O objetivo aqui é explicitar, de modo sistemático e verificável, os objetivos atingidos, os métodos empregados, os resultados obtidos e salientar as implicações dos mesmos para a atividades do projeto realizadas de forma subsequente durante 2025. O foco recai na modelagem de demanda e na análise de redes logísticas, traduzidas em evidências empíricas, hierarquizações de alternativas e recomendações de política voltadas à redução do custo logístico e ao fortalecimento da intermodalidade no Arco Norte.

As Etapas 3 e 4 responderam diretamente aos objetivos específicos do projeto: (i) desenvolver e aplicar modelos matemáticos para estimar e explicar os padrões de

demanda, custos e desempenho logístico; (ii) analisar, comparar e validar redes logísticas sob múltiplos critérios, produzindo uma classificação de rotas e portos; e (iii) mensurar os ganhos potenciais de intervenções de infraestrutura por meio de simulações de cenários.

Na transição das etapas instrumentais (1 e 2) para as etapas analítico-decisórias (3 e 4), consolidou-se um pipeline de trabalho que parte de uma base de dados georreferenciada e auditável, passa pela caracterização econométrica e multicritério e culmina em uma hierarquização de alternativas com viés de implementação. O escopo analítico assumido em 2024 privilegiou: (a) análise multivariada de dados (PCA e agrupamento hierárquico) para segmentar a base produtiva; (b) métodos de decisão multicritério (AHP–TOPSIS) para ponderar atributos e classificar rotas e portos; (c) modelagem em SIG/ArcGIS e uso de algoritmos de menor custo para testar redes; e (d) simulação de cenários de infraestrutura com leitura comparada de custos e confiabilidade.

A base de dados que alimentou a modelagem de 2024 resultou do trabalho realizado em 2023, refinada por rotinas de consistência, cruzamentos e atualização. No ambiente SIG, foram consolidadas camadas temáticas (rede rodoviária federal/estadual, hidrovias navegáveis e trechos críticos, ferrovias em operação e planejadas, portos/TUPs com atributos operacionais, acessos e pontos de transbordo), além de tabelas associadas de custos, tempos e volumes. Ainda neste âmbito, procedeu-se à harmonização de chaves geográficas (códigos de ativos, municípios e nós logísticos) para permitir interoperabilidade entre as análises espaciais, os modelos multicritério e as tabelas de resultados. A preparação incluiu: imputação conservadora de lacunas, normalização de unidades e criação de métricas derivadas (p.ex., custo por t.km efetiva, tempo porta-a-porta, variância de travessias críticas em trechos hidroviários).

No tocante aos dados de produção e escoamento, enfatizou-se a soja no Mato Grosso, pela representatividade no escoamento da região Centro-Oeste para o Arco Norte. As origens foram detalhadas de forma a existir uma correta interpretação quanto à origem da produção, aos corredores logísticos e aos portos de escoamento, com dados espacializadas por município e os percursos até aos destinos por portos/corredores. A integração com o AHP–TOPSIS exigiu a construção de uma matriz de decisão com alternativas (rota–porto) e critérios (custo, tempo, frequência/regularidade, segurança/risco, entre outros), bem como a normalização de escalas para viabilizar

comparações. Esse desenho permitiu alternar entre visões: (i) macro, por corredor; (ii) meso, por rota–porto; e (iii) micro, por município ou polo logístico.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi empregada com a finalidade de reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis (produção, produtividade, acessibilidade, proximidade a nós intermodais, custos típicos) e captar a estrutura latente de correlações. Os primeiros componentes sintetizaram o gradiente de infraestrutura–escala produtiva, mostrando que a competitividade logística regional está fortemente associada à presença de infraestrutura de alto desempenho (intermodalidade, acesso ferro/hidro, qualidade dos acessos) e a volumes significativos. Esse resultado orientou a leitura dos clusters, indicando que parte da desvantagem de áreas emergentes provém menos de características intrínsecas da produção e mais da estrutura de transporte disponível para o escoamento dessa produção para o exterior do Brasil.

O agrupamento hierárquico (método de ligação e métrica de distância apropriados ao conjunto de variáveis padronizadas) classificou os municípios produtores em dois grandes grupos: (a) infraestrutura consolidada e alta produção; (b) potencial de expansão condicionado por déficits logísticos. Em termos operacionais, o primeiro grupo tende a capturar economias de escala no transporte, seja pela proximidade a corredores intermodais, seja por cadeias de fornecimento estruturadas. O segundo grupo, por sua vez, apresenta trajetórias potencialmente mais sensíveis a melhorias marginais de infraestrutura (p.ex., requalificação de acessos, pontos de transbordo e regularidade hidroviária). Essa tipologia foi posteriormente cruzada com a hierarquização AHP–TOPSIS de rotas para identificar ‘casamentos’ mais eficientes entre polos e corredores.

A combinação AHP–TOPSIS foi eleita por equilibrar a participação dos *stakeholders*, por meio da comparação par-a-par dos critérios (AHP), com uma técnica de ordenação que mede a proximidade de cada alternativa à solução ideal (TOPSIS). A etapa AHP definiu pesos consistentes para os critérios centrais: custo total de transporte (maior peso), frequência/regularidade do serviço, tempo porta-a-porta, segurança/risco operacional e condicionantes operacionais portuários (calado, janela de maré, capacidade de cais, entre outros). Ao aplicar o TOPSIS sobre a matriz de decisão normalizada, obteve-se a pontuação relativa de cada rota–porto.

Os resultados foram inequívocos em apontar o custo de transporte como o fator decisivo na escolha de alternativas, seguido de frequência/regularidade e segurança

portuária. Em termos de alternativas, a rota intermodal BR-163 + Hidrovia Tapajós–Amazonas se destacou como solução de melhor compromisso, combinando custos inferiores e previsibilidade operacional superior em relação a rotas puramente rodoviárias de longa distância. Essa leitura é coerente com o objetivo estratégico do projeto: reduzir o Custo Brasil mediante desenho de redes intermodais com ênfase em hidrovia e ferrovia.

4.3 Avaliação Multicritério de Rotas e Portos (Etapa 4)

A representação espacial da rede multimodal em SIG/ArcGIS (com Network Analyst) permitiu testar caminhos de menor custo e simular o impacto de restrições operacionais. Cada arco da rede recebeu atributos de distância, tempo e custo; nós críticos receberam parâmetros de capacidade e restrições (p.ex., janelas de operação em terminais fluviais ou portos marítimos). O algoritmo de menor custo foi executado para diferentes origens (municípios) e destinos (portos) a fim de compor superfícies de escolha e mapas de alocação de fluxos. Esses resultados alimentaram o TOPSIS e, inversamente, os pesos multicritério permitiram refinar penalidades em arcos sensíveis (por exemplo, trechos com alta variância temporal foram penalizados para refletir perda de confiabilidade).

A Etapa 4 concentrou-se na testagem e validação de modelos por meio de cenários de infraestrutura. Três eixos principais de exportação foram analisados: (1) BR-163 + Hidrovia Tapajós–Amazonas até portos do Arco Norte; (2) BR-163 + Ferrovia Ferronorte até Santos; (3) BR-364 + Hidrovia Madeira–Amazonas até Itacoatiara/Santarém. Quatro cenários foram simulados: duplicação da BR-163; extensão da Ferronorte até Sorriso; duplicação da BR-364; e a combinação simultânea dos três. A métrica de comparação incluiu custo médio por tonelada (e sua variância), tempo porta-a-porta e indicadores de confiabilidade logística.

Os exercícios revelaram o papel estruturante da extensão da Ferronorte até Sorriso, com redução expressiva do custo médio de transporte em relação às condições de base. As duplicações rodoviárias (BR-163 e BR-364), embora positivas do ponto de vista de fluxo e segurança, mostraram retornos marginais em comparação às soluções que encurtam o trecho rodoviário e deslocam volume para ferrovia/hidrovia. Em termos de robustez, o cenário combinado apresentou o melhor desempenho agregado, mas a análise custo-benefício sugeriu priorização das intervenções intermodais como ponto de partida para ganhos mais duradouros.

A hierarquização final de alternativas combinou os escores TOPSIS com leituras de distribuição espacial em SIG. Foram produzidos mapas de decisão por microrregião e por município, indicando as rotas mais vantajosas nas condições vigentes e em cada cenário simulado. A classificação dos portos do Arco Norte refletiu a integração entre atributos operacionais (calado, janela, capacidade) e o desempenho das rotas associadas. A síntese cartográfica mostrou zonas de clara dominância intermodal ao longo do eixo BR-163/Tapajós–Amazonas e um ganho relativo importante quando a Ferronorte avança até o cinturão produtor de maior densidade (p.ex., Sorriso e entorno).

A validação dos resultados seguiu três vias: (i) consistência interna (coerência entre parâmetros e resultados esperados, estabilidade de classificações diante de pequenas perturbações nos dados); (ii) consistência cruzada (comparação da hierarquização AHP–TOPSIS com as superfícies de menor custo no SIG); e (iii) consistência externa (diálogo com evidências empíricas, literatura setorial e contribuições de especialistas). Em todos os casos, os padrões observados se mantiveram: as alternativas com maior participação ferroviária ou hidroviária tendem a liderar as classificações onde a rede permite efetiva transferência modal; intervenções puramente rodoviárias apresentam ganhos menores sobre longas distâncias.

Para além dos escores de classificação, foram calculados indicadores de desempenho operacional (tempo esperado, variância temporal, confiabilidade), econômicos (custo médio, custo marginal por intervenção) e de risco (exposição a gargalos específicos, janelas críticas). Análises de sensibilidade foram conduzidas variando: (a) pesos dos critérios no AHP; (b) custos unitários por modal; (c) parâmetros de confiabilidade; e (d) topologia (ativação de nós/arcos adicionais ou alternativos). Esses ensaios mostraram que a liderança da rota BR-163 + Hidrovia Tapajós–Amazonas é robusta em ampla faixa de variação de parâmetros, e que a priorização da extensão ferroviária mantém atratividade mesmo com elasticidades menos favoráveis de custo rodoviário.

4.4 Síntese Integrada e Encadeamento para as Etapas 5–6 de 2025

Dentre os produtos concretos das Etapas 3 e 4 destacaram-se: (i) base analítica consolidada para modelagem de demanda e rotas; (ii) tipologia de municípios e polos logísticos com base em PCA/agrupamento; (iii) matriz de decisão multicritério (rota–porto × critérios) com pesos validados; (iv) ranking de rotas e portos por TOPSIS sob

condição vigente e por cenário; (v) mapas de decisão e superfícies de alocação de fluxos; (vi) relatório técnico com metodologia, resultados e anexos (questionários de pesos e de escolha de rota). Esses entregáveis do trabalho realizado em 2024 funcionaram como insumo direto para a etapa de simulação operacional de 2025.

As limitações decorreram de se ter identificado: (a) dependência de dados secundários para algumas variáveis operacionais; (b) incertezas físicas (p.ex., sazonalidade hidroviária e suas implicações no calado útil) e de implantação (cronogramas de obras); (c) heterogeneidade na granularidade espacial/temporal dos dados. Assim, na transição das atividades realizadas em 2024 para as definidas para 2025, as medidas de mitigação adotadas incluíram: documentação de metadados, validação por especialistas, uso de faixas de valores e cenários conservadores, e análise de sensibilidade para testar a robustez de resultados frente a variações plausíveis.

As evidências de 2024 alimentaram diretamente a fase em que foi feita a Formulação e Simulação Operacional das Redes (Etapas 5 e 6 em 2025). Em particular: (1) os pesos multicritério calibrados e os rankings de rotas/portos são os parâmetros de entrada para modelos de fluxo em rede com capacidade limitada; (2) as tipologias de municípios orientam a priorização espacial de investimentos; (3) os resultados de cenários oferecem um cardápio de alternativas para seleção e combinação de projetos com maior retorno logístico e econômico; (4) os mapas de decisão são usados como base de comunicação técnica com formuladores de política pública e agentes privados.

As Etapas 3 e 4 cumpriram o papel de irrigar a tomada de decisão com evidência quantitativa e espacialmente explícita. A transição da descrição para a modelagem gerou um quadro de prioridades onde soluções intermodais – notadamente a combinação de rodovia–hidrovia via BR-163/Tapajós–Amazonas e a expansão ferroviária rumo aos polos de maior densidade – figuram como linhas mestras para reduzir o Custo Brasil no escoamento da produção do Centro-Oeste. A consistência entre análises multicritério, o menor custo avaliado na modelação feita em SIG e a simulações de infraestrutura fornece um grau adicional de confiança para avançar, em 2025, com uma efetiva simulação operacional e conseguir testar a sensibilidade do Modelo Estratégico.

**FORMULAÇÃO E
SIMULAÇÃO
OPERACIONAL DAS
REDES LOGÍSTICAS
(ETAPA 5)**

5 FORMULAÇÃO E SIMULAÇÃO OPERACIONAL DAS REDES LOGÍSTICAS (ETAPA 5)

Este capítulo apresenta os resultados da Etapa 5 do projeto ARCLOG NORTE, realizada em 2025, dedicada à formulação e à simulação operacional das redes logísticas prospectadas nas fases anteriores da pesquisa. Como já referido antes, com base nos insumos analíticos consolidados nas etapas 3 e 4, a análise desloca-se, na etapa 5, da competitividade potencial das alternativas para a verificação de seu comportamento em condições operacionais simuladas, incorporando variáveis como carga movimentada, capacidade modal, tempos de percurso, espera, transbordo e descarga. Nessa perspectiva, o capítulo busca, não apenas comparar corredores logísticos, explicitar os condicionantes efetivos de seu desempenho, identificar gargalos, distinguir alternativas com maior ou menor estabilidade operacional e produzir a base empírica necessária para a consolidação do modelo estratégico a ser apresentado no capítulo seguinte referente à etapa 6.

5.1 Premissas e Parâmetros da Simulação Operacional

A quinta etapa do projeto ARCLOG NORTE corresponde ao momento em que as alternativas de redes intermodais, anteriormente prospectadas e analisadas em bases estruturais e multicritério, passam a ser submetidas a um exame de natureza operacional. Conforme previsto no projeto submetido ao CNPq, esta etapa tem por marco físico a apresentação de relatório preliminar do modelo estratégico, resultante da aplicação para teste e validação do modelo matemático e da simulação operacional das alternativas de redes intermodais, em face de cenários econômicos e de desenvolvimento regional, com os respectivos investimentos. Neste relatório de 2025, essa mesma definição é retomada como eixo metodológico das etapas finais do projeto.

A conclusão dos trabalhos referentes às etapas 3 e 4 e o arranque dos trabalhos da etapa 5 não representa uma ruptura metodológica no projeto, mas um aprofundamento analítico que visa dar consistência à formulação de cenários e à construção da proposta de modelo estratégico. As evidências produzidas em 2024, incluindo a base analítica consolidada para modelagem de demanda e rotas, as tipologias de municípios e polos logísticos, a matriz de decisão multicritério, os *rankings* de rotas e portos, bem como os mapas de decisão e de alocação de fluxos, são explicitamente definidos e apresentados neste relatório referente a 2025, já que constituem importantes insumos diretos para a etapa de simulação operacional. Em outras palavras, a etapa 5 desloca o foco da

competitividade potencial das alternativas para a observação de seu comportamento em condições operacionais simuladas.

Nessa perspectiva, a simulação operacional foi estruturada com base em fichas técnicas das rotas selecionadas, nas quais se organizaram, de forma padronizada, os principais parâmetros físicos e logísticos de cada corredor. Essas fichas reúnem variáveis como carga simulada, tempo total, distância percorrida, capacidade média dos caminhões, número de caminhões enviados por dia, capacidade por vagão, composição dos trens, capacidade unitária das barcaças, formação de comboios fluviais, velocidade operacional por modal, tempos de carga, descarga, espera e transferência portuária. A existência dessa base paramétrica é coerente com a orientação do próprio relatório de 2025, segundo a qual a etapa final aprofunda a análise por meio de simulações dinâmicas que incorporam variáveis operacionais críticas, frequentemente negligenciadas em modelos mais agregados. Um elemento essencial às simulações realizadas, e apresentadas na sequência deste relatório, foi a definição dos parâmetros necessários a considerar nessas simulações os diferentes modais de forma a serem adotados valores de dados reais e confiáveis, obtidos pela consulta de múltiplas fontes de informação fiáveis e posterior validação junto de representantes de diversos operadores logísticos com atuação nos corredores logístico em estudo. Os parâmetros em causa permitem obter resultados confiáveis nas diversas componentes de transporte rodo-ferro-hidro consideradas e nos tempos de transbordo entre modos de transporte.

De modo geral, as premissas rodoviárias adotadas giram em torno de capacidade média de 50 t por caminhão, velocidade média de 45 km/h e tempos de espera antes da descarga em torno de 24 horas nas rotas associadas a Miritituba. No segmento ferroviário, são admitidas capacidade de 95 a 96 t por vagão, composições com até 120 vagões por trem e operação de múltiplos trens por dia, enquanto, no segmento hidroviário, predominam barcaças de 2.000 t e comboios de 20 a 30 unidades, com velocidade média fluvial em torno de 10 km/h e tempos de carga bastante superiores aos observados nos demais modais. Esses parâmetros, sintetizados no Quadro 2, evidenciam que a comparação entre corredores não deve ser feita apenas em termos de distância, mas sobretudo em função da forma como cada alternativa articula capacidade, escala de operação, regularidade e sincronização modal.

Cumprе destacar que as rotas representadas na Figura 2 não correspondem, indistintamente, a corredores integralmente existentes e operacionais na configuração

atual da rede logística brasileira. Parte delas retrata arranjos já observáveis no sistema de transportes, enquanto outra parte consiste em alternativas hipotéticas, construídas com finalidade analítica para subsidiar a simulação operacional, a comparação entre cenários e o teste de sensibilidade do modelo estratégico. Tais rotas foram formuladas a partir da combinação entre infraestrutura existente, projetos de investimento previstos ou em discussão e possibilidades de articulação intermodal consideradas plausíveis no horizonte analítico da pesquisa. Assim, sua representação cartográfica deve ser compreendida como instrumento metodológico de prospecção e avaliação de desempenho logístico, e não como afirmação de implantação integral ou imediata de todos os corredores indicados.

As rotas simuladas concentram-se nos principais corredores de escoamento da soja do Mato Grosso com destino aos portos do Sudeste e do Arco Norte, abrangendo as ligações Sorriso–Rondonópolis–Santos, Sorriso–Miritituba–Vila do Conde, Sorriso–Miritituba–Santarém, Sorriso–Porto Velho–Itacoatiara, Sorriso–Porto Velho–Santarém, Lucas do Rio Verde–Miritituba–Vila do Conde e Lucas do Rio Verde–Santos. As fichas consultadas permitiram identificar, nas principais simulações, carga de referência de 45.000 t, variando conforme o corredor, bem como diferenças expressivas de tempo total e extensão territorial entre os arranjos rodoferroviários e rodo-hidroviários.

5.2 Simulação dos Fluxos e Desempenho das Rotas

A simulação dos fluxos teve como objetivo verificar o desempenho operacional das principais alternativas de escoamento da soja do Mato Grosso para os portos do Arco Norte e do Sudeste, traduzindo em métricas operacionais os arranjos logísticos anteriormente identificados como relevantes para a competitividade regional. Nessa perspectiva, a análise concentrou-se não apenas nas distâncias totais percorridas, mas na combinação entre tempo total de deslocamento, capacidade dos modais, necessidade de transbordo, ritmo de carregamento e descarregamento e robustez das conexões intermodais ao longo do percurso. Nos corredores, a rota Sorriso–Rondonópolis–Santos, de natureza rodoferroviária, apresentou carga simulada de 45.000 toneladas, tempo total de 163 horas e distância de 2.250 km. Nessa alternativa, o trecho rodoviário atua como alimentador do terminal ferroviário, que passa a concentrar a maior parte da movimentação em direção ao porto de Santos. Do ponto de vista operacional, trata-se de uma solução em que a elevada capacidade do transporte ferroviário contribui para manter o corredor competitivo, mesmo com maior distância total, desde que a formação e a descarga dos trens ocorram em ritmo compatível com a chegada da carga por rodovia.

Quadro 2: Parâmetros operacionais adotados na simulação

Modal	Parâmetro	Valor extraído do banco de dados da pesquisa	Unidade	Observação
Rodoviário	Capacidade média do caminhão	50	t	Valor recorrente nas rotas simuladas
Rodoviário	Velocidade média de viagem	45	km/h	Valor recorrente nas fichas
Rodoviário	Espera antes de descarregar	24	h	Informada para rotas com transbordo em Miritituba
Rodoviário	Número de caminhões enviados por dia	1200 / 300 / 800	caminhões/dia	Varia conforme a rota simulada
Ferroviário	Capacidade por vagão	95 / 96	t/vagão	Conforme rota e composição
Ferroviário	Número de vagões por trem	120 / 80 / 130	vagões/trem	Conforme a rota simulada
Ferroviário	Número de trens carregados por dia	7 / 8,2 / 6	trens/dia	Valores observados nas fichas
Ferroviário	Velocidade média de operação	12	km/h	Valor registrado nas fichas resumidas
Ferroviário	Tempo médio de espera para descarga de caminhões	6	h	Registrado para a interface terminal–ferrovia
Hidroviário	Capacidade de uma barcaça	2000 / 2400 / 3000	t/barcaça	Conforme o corredor
Hidroviário	Número de barcaças por comboio	20 / 30	barcaças/comboio	Conforme o corredor
Hidroviário	Velocidade a favor da corrente	10	km/h	Valor recorrente nas fichas
Hidroviário	Tempo médio de espera para descarga de caminhões	24 / 48	h	Variável conforme a rota
Hidroviário	Tempo de carga do comboio fluvial	4 dias (96 h) 13 dias (192 h)	h	Varia com capacidade e composição

Figura 2: Rotas intermodais simuladas na Etapa 5

1. Sorriso – Rondonópolis – Santos



2. Sorriso – Miritituba – Vila do Conde



3. Sorriso – Miritituba – Santarém



4. Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara (rota hipotética)



5. Sorriso – Porto Velho – Santarém (rota hipotética)



6. Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde (rota hipotética)



7. Lucas do Rio Verde – Santos (rota hipotética)



No sentido dos portos do Arco Norte, a rota Sorriso–Miritituba–Vila do Conde, de natureza rodo-hidroviária, foi simulada com a mesma carga de 45.000 toneladas, distância total de 2.166 km e tempo total de 298 horas. Embora a distância total seja inferior à rota para Santos, o tempo agregado mostrou-se substancialmente superior, em razão, sobretudo, da duração do carregamento do comboio fluvial, da navegação até o porto marítimo e das operações de descarga e transferência. Essa diferença evidencia que soluções hidroviárias podem apresentar elevada eficiência em termos de capacidade e custo por tonelada transportada, mas dependem fortemente da dinâmica operacional dos terminais e da regularidade do sistema de transbordo.

A rota Sorriso–Miritituba–Santarém também foi simulada com 45.000 toneladas, mas apresentou tempo total de 202 horas e distância de 1.357 km, revelando uma configuração operacional mais curta tanto em distância, quanto em duração total, quando comparada à alternativa com destino a Vila do Conde. Esse resultado sugere que, dentro do mesmo arranjo rodo-hidroviário, a escolha do porto de destino e o comprimento do trecho fluvial alteram de maneira significativa o desempenho do corredor, reforçando a importância de tratar os portos não como destinos equivalentes, mas como componentes distintos da eficiência da rede logística.

As simulações também consideraram rotas com passagem por Porto Velho e Lucas do Rio Verde, ampliando a análise operacional a outros corredores logísticos que não apenas o eixo Sorriso–Miritituba. Em termos comparativos, esses corredores permitem observar como variações na origem, na extensão do trecho rodoviário e na configuração hidroviária repercutem sobre a regularidade do fluxo e sobre a exposição a gargalos de transbordo. Ainda que nem todos os parâmetros estejam integralmente legíveis em uma única ficha de dados consolidada, o conjunto do material permite afirmar que a simulação foi desenhada para examinar não apenas rotas isoladas, mas o comportamento sistêmico das redes intermodais em diferentes articulações espaciais. Os resultados gerais da simulação dos principais corredores logísticos, em termos de arranjo modal, carga simulada, tempo total e distância percorrida, encontram-se sintetizados na Tabela 1.

Para complementar essa visão sintética, a Tabela 2 apresenta os principais parâmetros operacionais específicos das rotas simuladas, permitindo detalhar os fatores que condicionam o desempenho de cada corredor em termos de capacidade, ritmo de carregamento, formação das composições e operações de transbordo. A leitura conjunta

das Tabelas 1 e 2 evidencia que o desempenho dos corredores simulados não resulta apenas da distância total percorrida, tendo em conta que são utilizadas diversas opções modais e de interoperacionalidade modal, mas da combinação entre capacidade modal, tempos operacionais e grau de articulação entre os diferentes trechos da cadeia logística.

As diferenças observadas entre os corredores simulados, em termos de tempo total de operação e distância percorrida, são sintetizadas graficamente na Figura 3, permitindo visualizar de forma comparativa o comportamento dos distintos arranjos intermodais analisados. A Figura 3 está no formato de gráfico de dispersão, comparando: distância total (km) no eixo horizontal versus tempo total de operação (h) no eixo vertical e com identificação de cada rota simulada. Pode-se observar que a menor distância nem sempre significa menor tempo total.

Tabela 1: Resultados gerais da simulação dos corredores logísticos

Rota	Arranjo modal	Carga simulada (t)	Tempo total, h	Distância total (km)
Sorriso – Rondonópolis – Santos	Rodoviário + Ferroviário	45.000	163	2.250
Sorriso – Miritituba – Vila do Conde	Rodoviário + Hidroviário	45.000	298	2.166
Sorriso – Miritituba – Santarém	Rodoviário + Hidroviário	45.000	202	1.357
Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara	Rodoviário + Hidroviário	45.000	389	2.850
Sorriso – Porto Velho – Santarém	Rodoviário + Hidroviário	45.000	475	3.412
Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde	Ferroviário* + Hidroviário	45.000	299	2.194
Lucas do Rio Verde – Santos	Rodoviário + Ferroviário	45.000	218	2.190

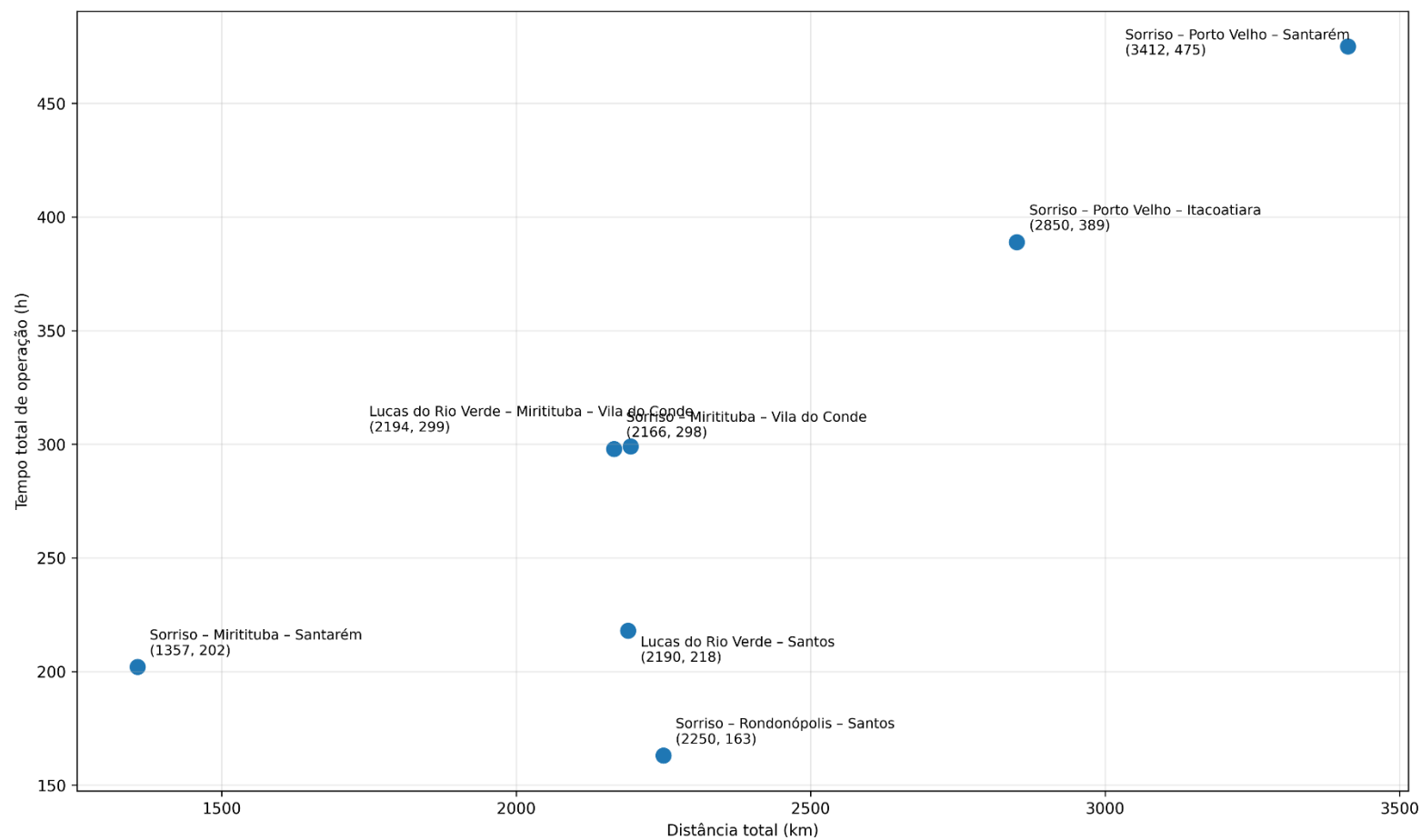
*Ferrogrão.

Adicionalmente, a distribuição dos pontos no gráfico revela a formação de padrões distintos de desempenho entre os corredores simulados, associados às especificidades de cada arranjo intermodal. Nota-se que as rotas com maior participação hidroviária tendem a apresentar tempos totais de operação mais elevados, mesmo quando vinculadas a distâncias globais relativamente inferiores, o que evidencia a influência decisiva das etapas de transbordo, da formação dos comboios e das operações de descarga portuária.

Tabela 2: Parâmetros específicos por rota simulada

Rota	Caminhões/ dia	Capacidade/ vagão (t)	Vagões/ trem	Trens/ dia	Barcaças/ comboio	Capacidade/ barcaça (t)	Tempo de carga/descarga relevante
Sorriso – Rondonópolis – Santos	1200	95	120	7	–	–	18 h carga caminhões; 12 h carga dos trens; 30 h descarga no porto
Sorriso – Miritituba – Vila do Conde	1200	–	–	–	30	2000	18 h carga caminhões; 4 dias carga comboio; 30 h descarga/transferência
Sorriso – Miritituba – Santarém	1200 / 300 / 400	–	–	–	30 / 20	2000 / 2400 / 3000	18 h carga caminhões; 24 h espera; 30 h descarga/transferência
Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara	1200	–	–	–	20	2000 / 2400	18 h / 28 h carga; 39 h / 42 h trecho rodoviário; descarga conforme terminal
Sorriso – Porto Velho – Santarém	1200 / 400	–	–	–	20 / 15 / 30	2000 / 3000	18 h / 36 h carga; 39 h / 40 h no trecho rodoviário; 30 h descarga
Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde	200 / 110	–	–	–	20	2000	Parâmetros associados a cenário prospectivo com Ferrogrão (futura ferrovia) e variação da velocidade ferroviária entre 12 e 36 km/h
Lucas do Rio Verde – Santos	–	96	120 / 130 / 130	4,8	–	–	91h40min / 183h30min no trecho ferroviário; 30 h descarga no porto

Figura 3: Comparação dos tempos totais e distâncias das rotas simuladas



Fonte: elaboração própria com base nas fichas das rotas simuladas.

Em contrapartida, os corredores com participação ferroviária mostram maior estabilidade temporal relativa, reforçando que a eficiência logística resulta menos da extensão isolada da rota e mais da articulação entre capacidade modal, regularidade operacional e sincronização entre os elos da cadeia de transporte.

De modo geral, a simulação confirmou que o desempenho logístico não decorre apenas da menor distância ou do menor custo unitário de um modal isolado. O que se observou foi que o resultado depende do equilíbrio entre capacidade de carregamento, regularidade dos envios, velocidade operacional, tempo de espera e eficiência nas interfaces entre modais.

Em corredores rodoferroviários, a vantagem tende a estar associada à maior capacidade e à maior estabilidade relativa do transporte de grandes volumes, enquanto, nos corredores rodo-hidroviários, o ganho potencial decorre da grande escala do transporte fluvial, ainda que com maior sensibilidade aos tempos de formação de comboio e descarga portuária. Esses achados dialogam com os resultados das etapas anteriores, segundo os quais a intermodalidade se consolidou como condição essencial para ganhos substantivos de eficiência. O que a Etapa 5 acrescenta é a demonstração de que tais ganhos precisam ser lidos à luz do comportamento operacional efetivo dos corredores. Ou seja, uma alternativa pode ser competitiva em termos estruturais, mas perder desempenho quando submetida a restrições de capacidade, formação de fila, baixa sincronização entre modais ou tempos excessivos de carga e descarga.

5.3 Gargalos e Análise Comparativa dos Corredores

A análise comparativa dos corredores simulados evidenciou que os gargalos logísticos se distribuem de forma desigual ao longo da cadeia de transporte e assumem natureza distinta conforme o arranjo modal adotado. Isso significa que a eficiência global do corredor não pode ser atribuída apenas ao desempenho de um único trecho, mas ao modo como o sistema responde à combinação entre infraestrutura disponível, capacidade operacional e sincronização entre as etapas da movimentação. Nesse sentido, a simulação operacional mostrou-se particularmente útil para revelar onde se concentram os principais pontos de restrição das redes intermodais prospectadas.

Nos trechos rodoviários, o principal ponto crítico permanece relacionado à necessidade de movimentar grandes volumes por meio de elevada quantidade de caminhões, o que pressiona a capacidade das rodovias, dos pátios e dos terminais

receptores. Mesmo quando o transporte rodoviário exerce apenas a função de alimentação de um terminal ferroviário ou hidroviário, o sistema continua dependente do fluxo regular de veículos e da capacidade de recepção no ponto de transbordo. Assim, atrasos em descarregamento, formação de filas e oscilações no ritmo de expedição podem comprometer o desempenho do corredor como um todo.

No caso do arranjo rodoferroviário, o gargalo central desloca-se da estrada para a interface terminal-ferrovia-porto. A capacidade dos trens, expressa pelo número de vagões por composição e pela quantidade de trens carregados por dia, representa uma vantagem estrutural importante. Contudo, para que essa vantagem se traduza em eficiência real, é indispensável que a descarga rodoviária no terminal ferroviário e a liberação da carga no porto ocorram em compasso adequado. Quando esse sincronismo é rompido, a alta capacidade ferroviária deixa de produzir todo o ganho potencial previsto.

Nos corredores rodo-hidroviários, os gargalos aparecem com maior intensidade nas operações de formação e carregamento dos comboios, bem como nas etapas de descarga e transferência portuária. Ainda que o transporte hidroviário ofereça grande capacidade por viagem e vantagens em escala, ele também impõe tempos mais prolongados de preparação operacional, sobretudo quando se trabalha com comboios extensos e alta dependência de infraestrutura terminal. Além disso, a navegação fluvial está sujeita a condicionantes regionais, incluindo sazonalidade, variações de calado e instabilidades na regularidade operacional de determinados eixos hidroviários. Isso explica por que algumas rotas com menor distância total pode apresentar tempo agregado significativamente superior.

A comparação entre os corredores sugere, portanto, que a vantagem logística não está unicamente no menor percurso nem na maior capacidade isolada de determinado modal. O que define o desempenho do corredor é a capacidade do sistema de operar de forma articulada, evitando estrangulamentos nas interfaces. Nesse aspecto, a simulação reforça uma conclusão já delineada nas fases anteriores: a intermodalidade representa a direção mais promissora para o aumento da eficiência logística já que consegue tirar mais proveito dos modos mais eficientes e adaptados às várias componentes dos operadores logísticos e da existência de sistemas de transbordo eficientes, mas seus benefícios dependem da existência de infraestrutura adequada e de coordenação operacional entre os elos da rede.

Quadro 3: Principais gargalos operacionais identificados por corredor logístico

Corredor	Gargalo principal	Efeito operacional observado	Implicação estratégica
Sorriso – Rondonópolis – Santos	Sincronização rodovia–ferrovia–porto	O desempenho depende da coordenação entre alimentação rodoviária, formação de trens e descarga portuária	Reforça a importância de capacidade terminal e estabilidade ferroviária
Sorriso – Miritituba – Vila do Conde	Formação do comboio fluvial e descarga/transferência portuária	Tempo total elevado apesar da distância menor que a rota para Santos	Exige melhoria de terminais e maior regularidade hidroviária
Sorriso – Miritituba – Santarém	Interface rodovia–hidrovia e operação portuária	Tempo total inferior ao de Vila do Conde, mas ainda sensível à espera e à carga do comboio	Mostra que a escolha do porto altera significativamente a eficiência do corredor
Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara	Extensão do ciclo logístico e múltiplos pontos de restrição	Maior tempo total e maior dependência das condições operacionais hidroviárias	Demanda avaliação cautelosa da robustez operacional
Sorriso – Porto Velho – Santarém	Acúmulo de tempos de percurso, espera e descarga	Tempo total mais elevado entre as rotas principais visualizadas	Indica maior vulnerabilidade operacional
Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde	Dependência da articulação ferrovia–hidrovia e do transbordo em Miritituba	Desempenho próximo ao eixo de Miritituba, mas sensível à velocidade ferroviária e à regularidade da transferência para o trecho hidroviário	Relevante para ampliar a análise espacial do Arco Norte e para testar o efeito da integração ferro-hidroviária em cenários de expansão
Lucas do Rio Verde – Santos	Interface terminal–ferrovia–porto	Mantém a lógica de robustez do corredor rodoferroviário, mas com tempos superiores a Sorriso–Santos	Reforça o papel da origem e da distância inicial rodoviária

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Do ponto de vista comparativo, o corredor para Santos se destaca pela rapidez relativa da solução rodoferroviária quando comparado às alternativas hidroviárias de maior duração total, ainda que envolva maior extensão territorial. Por sua vez, as soluções com conexão em Miritituba mostram o potencial do Arco Norte para capturar fluxos de exportação, mas também evidenciam que a competitividade dessas rotas depende da eficiência dos terminais de transbordo e das operações fluviais e portuárias. Assim, a simulação não invalida a centralidade das rotas amazônicas; ao contrário, qualifica tecnicamente sua viabilidade, mostrando em que condições elas se tornam mais ou menos robustas. A sistematização dos principais gargalos operacionais identificados em cada corredor logístico, bem como de seus efeitos sobre o desempenho da rede, encontra-se sintetizado no Quadro 3.

Em síntese, os gargalos identificados nesta etapa podem ser agrupados em quatro categorias principais:

- i. Restrições de capacidade e fluidez no transporte rodoviário de alimentação;
- ii. Dependência de sincronização nos terminais de transbordo;
- iii. Tempos prolongados de formação de comboio, espera e descarga nos corredores hidroviários;
- iv. Necessidade de ampliação da capacidade portuária e da confiabilidade operacional nos pontos de saída da carga. Essas evidências têm papel central para a etapa seguinte, pois permitem converter a análise operacional em subsídios para a priorização de investimentos e para a consolidação do modelo estratégico do projeto.

Para fins de análise comparativa dos corredores simulados, adota-se, neste relatório, a noção de robustez operacional como a capacidade relativa de cada corredor de preservar desempenho logístico satisfatório diante de restrições de capacidade, exigências de transbordo, dependência de sincronização entre modais e exposição a tempos de espera, carga e descarga. Trata-se de uma apreciação qualitativa, e não matemática, construída a partir da leitura conjunta dos resultados da simulação e dos gargalos identificados em cada arranjo intermodal.

Com base nesses elementos, consideram-se de maior robustez os corredores com menor vulnerabilidade a descontinuidades operacionais e maior regularidade no escoamento da carga; de robustez intermediária, aqueles que mantêm desempenho

satisfatório, embora dependentes de determinados pontos críticos da cadeia; e de menor robustez, os corredores mais sensíveis a gargalos de transbordo, formação de filas, tempos prolongados de operação e limitações nas interfaces logísticas.

À luz dos principais gargalos operacionais identificados por corredor logístico salientados no Quadro 3, o corredor Sorriso–Rondonópolis–Santos destaca-se como o de maior robustez operacional; Sorriso–Miritituba–Santarém e Lucas do Rio Verde–Santos apresentam robustez média a superior; Sorriso–Miritituba–Vila do Conde e Lucas do Rio Verde–Miritituba–Vila do Conde, robustez média; e Sorriso–Porto Velho–Itacoatiara e Sorriso–Porto Velho–Santarém, menor robustez operacional.

5.4 Síntese dos Resultados Operacionais e Encadeamento para o Modelo Estratégico

A apreciação qualitativa da robustez operacional dos corredores permite, portanto, ir além da identificação isolada de gargalos e avançar para uma leitura integrada do comportamento das alternativas simuladas. Ao evidenciar quais corredores se mostram mais estáveis, quais os que dependem de investimentos adicionais e quais revelam maior vulnerabilidade a restrições operacionais. E, nesse sentido, consolida-se essas evidências em uma perspectiva mais abrangente, articulando os achados operacionais da simulação com o encadeamento lógico que conduz à formulação do modelo estratégico do projeto.

De maneira geral, os resultados obtidos na Etapa 5 permitem avançar na análise estrutural e comparativa das alternativas logísticas para a validação de seu comportamento em condições operacionais simuladas. Ao incorporar variáveis diretamente relacionadas ao funcionamento dos corredores: como capacidade modal, tempos de percurso, tempos de espera, operações de carga, descarga e transbordo, a pesquisa passou a observar não apenas quais rotas são potencialmente competitivas, mas em que medida elas são operacionalmente viáveis e sob quais condições mantêm seu desempenho esperado. Essa é precisamente a função desta etapa no âmbito do projeto: testar e validar o modelo matemático e a simulação operacional das redes intermodais prospectadas.

A síntese dos principais resultados operacionais observados na simulação, bem como de suas implicações para a consolidação do modelo estratégico, encontra-se sistematizada no Quadro 4. Como já foi salientado antes, os resultados sistematizados reforçam a evidência de que a eficiência logística do sistema não depende exclusivamente da menor distância ou do menor custo teórico de um trecho específico, mas da integração entre os

modais e da capacidade de funcionamento coordenado das interfaces logísticas. Em termos práticos, esta evidência revela que o desempenho de uma alternativa intermodal pode ser comprometido por tempos excessivos de espera, insuficiência de infraestrutura nos pontos de transbordo, baixa regularidade das operações ou limitações de capacidade portuária, mesmo quando a solução apresenta vantagens relevantes em escala ou em custo potencial. Por outro lado, corredores mais longos podem manter desempenho competitivo quando operam com maior estabilidade, elevada capacidade de transporte e melhor sincronização entre os elos da cadeia.

Os resultados das simulações também reforçam a relevância da intermodalidade como eixo estruturante da competitividade logística do Arco Norte e de sua articulação com os portos tradicionais do Sudeste. As alternativas analisadas indicam que a combinação entre modais constitui a principal via para superar a excessiva dependência do transporte rodoviário e reduzir as ineficiências associadas ao escoamento de cargas de baixo valor agregado em longas distâncias. Contudo, os ganhos esperados da intermodalidade só se concretizam quando acompanhados de investimentos em capacidade terminal, maior confiabilidade operacional e redução dos estrangulamentos nas interfaces modais. Esse encadeamento entre a simulação operacional desenvolvida na Etapa 5 e os desdobramentos analíticos e propositivos da Etapa 6 encontra-se sintetizado na Figura 4.

Sob essa perspectiva, a Etapa 5 cumpre papel decisivo no encadeamento do relatório. A análise e os resultados obtidos nesta fase oferecem a base empírica e operacional necessária para a consolidação do modelo estratégico a ser apresentada no capítulo seguinte (cap. 6). Em vez de encerrar-se numa comparação descritiva entre rotas, os resultados obtidos pelas simulações realizadas permitem identificar quais corredores se mostram mais robustos, que dependem de investimentos adicionais e quais condicionantes a serem considerados na formulação de cenários estratégicos de desenvolvimento logístico para a Amazônia. Após a Etapa 5, a passagem para a Etapa 6 ocorre de forma natural: a análise operacional dos fluxos converte-se em insumo para o teste de sensibilidade, a definição de prioridades de investimento e a organização do modelo estratégico, o principal e mais relevante contributo do projeto para a sociedade.

Quadro 4: Síntese dos resultados operacionais e implicações para o modelo estratégico

Rota	Robustez operacional	Principal restrição	Leitura estratégica para a Etapa 6
Sorriso – Rondonópolis – Santos	Alta	Dependência de sincronização terminal–ferrovia–porto	Referência de corredor rodoferroviário robusto para comparação
Sorriso – Miritituba – Vila do Conde	Média	Tempo elevado de carga do comboio e descarga/transferência	Requer priorização de investimentos em terminais e regularidade operacional
Sorriso – Miritituba – Santarém	Média/Alta	Dependência da interface rodovia–hidrovia e operação portuária	Alternativa estratégica com melhor equilíbrio tempo–distância dentro do eixo Miritituba
Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara	Média/Baixa	Longo tempo total e maior exposição a restrições hidroviárias	Deve ser tratada com cautela em cenários de robustez operacional
Sorriso – Porto Velho – Santarém	Baixa	Acúmulo de tempos de percurso e descarga	Menor prioridade relativa em comparação com corredores mais competitivos
Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde	Média	Sincronização ferrovia–hidrovia e dependência da escala do transbordo/comboio	Alternativa relevante para avaliar a contribuição da integração ferro-hidroviária ao redesenho espacial do modelo
Lucas do Rio Verde – Santos	Média/Alta	Distância inicial e condicionantes ferroviários	Reforça o potencial da solução rodoferroviária fora do eixo Sorriso

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 4: Encadeamento entre a Etapa 5 e a Etapa 6 do projeto



Fonte: elaboração própria com base nos resultados da simulação operacional e no encadeamento analítico das Etapas 5 e 6 do projeto.

APRESENTAÇÃO DO MODELO ESTRATÉGICO (ETAPA 6)



6 APRESENTAÇÃO DO MODELO ESTRATÉGICO (ETAPA 6)

Os resultados da Etapa 6 do projeto ARCLOG NORTE são voltados à consolidação do modelo estratégico formulado a partir das evidências produzidas ao longo da pesquisa. Se a Etapa 5 permitiu testar o comportamento dos corredores simulados em condições operacionais, identificando gargalos, condicionantes de desempenho e diferenças relativas de robustez, a presente etapa desloca a análise para uma perspectiva integradora e propositiva, orientada à construção de cenários estratégicos, ao teste de sensibilidade do modelo e à definição de prioridades de investimento.

6.1 Consolidação dos Resultados da Simulação

A consolidação dos resultados da simulação constitui o primeiro passo para a formulação do modelo estratégico, pois permite reorganizar, em perspectiva sintética, as principais evidências produzidas na Etapa 5. As simulações operacionais mostraram que o desempenho dos corredores não depende apenas da menor distância total percorrida, nem do custo potencialmente mais baixo de um modal isolado, mas da combinação entre capacidade de transporte, regularidade dos envios, eficiência nas interfaces logísticas e estabilidade operacional ao longo de toda a cadeia logística. Nesse sentido, a análise confirmou a importância da intermodalidade como eixo estruturante da competitividade logística, ao mesmo tempo em que evidenciou a permanência de gargalos em terminais de transbordo, operações portuárias e pontos de sincronização modal.

Os resultados da etapa anterior, também, mostraram que as alternativas simuladas não apresentam o mesmo grau de robustez operacional. Alguns corredores revelaram maior estabilidade relativa, beneficiando-se da elevada capacidade de transporte e de menor vulnerabilidade a interrupções operacionais; outros, embora dotados de potencial logístico relevante, mostraram-se mais sensíveis a tempos de espera, formação de comboios, limitações nas interfaces modais e maior dependência de investimentos complementares. Com isso, a simulação deixou de ser apenas um exercício de comparação entre rotas e passou a produzir uma base empírica para a distinção entre alternativas mais estáveis, alternativas condicionadas e alternativas mais vulneráveis do ponto de vista operacional. A consolidação comparativa dos principais resultados da simulação operacional, incluindo desempenho, gargalos, robustez relativa e implicações estratégicas, encontra-se sistematizada no Quadro 5.

Quadro 5: Consolidação dos principais resultados da simulação operacional

Corredor logístico	Arranjo modal predominante	Síntese do desempenho operacional	Principal gargalo identificado	Robustez operacional relativa	Implicação estratégica
Sorriso – Rondonópolis – Santos	Rodoferroviário	Apresentou o menor tempo total entre as principais rotas simuladas e maior estabilidade relativa do fluxo	Dependência de sincronização entre terminal ferroviário, composição dos trens e descarga portuária	Alta	Corredor de referência para comparação e alternativa de elevada consistência operacional
Sorriso – Miritituba – Vila do Conde	Rodo-hidroviário	Revelou elevada capacidade potencial, porém com tempo total expressivo e maior sensibilidade às interfaces logísticas	Formação de comboio, espera para transbordo e descarga/transferência portuária	Média	Alternativa promissora, mas dependente de melhorias operacionais e investimentos em terminais
Sorriso – Miritituba – Santarém	Rodo-hidroviário	Mostrou melhor equilíbrio entre distância e tempo no eixo amazônico analisado	Interface rodovia–hidrovia e desempenho das operações portuárias	Média a Superior	Corredor estratégico com desempenho mais equilibrado entre as alternativas do eixo Miritituba
Sorriso – Porto Velho – Itacoatiara	Rodo-hidroviário	Apresentou tempo total elevado e maior exposição a limitações hidroviárias e operacionais	Longo ciclo logístico, transbordos e sensibilidade às restrições da navegação	Baixa a Média	Exige avaliação cautelosa e maior suporte infraestrutural para ganho de competitividade
Sorriso – Porto Velho – Santarém	Rodo-hidroviário	Configurou a alternativa de maior duração total entre as rotas destacadas	Acúmulo de tempos de percurso, espera, descarga e maior complexidade operacional	Baixa	Menor prioridade relativa frente a corredores mais eficientes e estáveis
Lucas do Rio Verde – Miritituba – Vila do Conde	Ferro-hidroviário	Desempenho condicionado à integração entre velocidade ferroviária, transbordo e escala do trecho fluvial	Articulação ferrovia–hidrovia e regularidade do transbordo	Média	Relevante para expansão espacial da análise e para avaliação regional do modelo
Lucas do Rio Verde – Santos	Rodoferroviário	Manteve consistência operacional associada ao eixo ferroviário, embora com tempo superior ao corredor partindo de Sorriso	Distância inicial do trecho rodoviário e interface terminal–ferrovia–porto	Média a Superior	Relevante para testar cenários de expansão associados à Ferrogrão e ao eixo Miritituba

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em termos estratégicos, essa consolidação significa que os resultados da simulação operacional podem agora ser interpretados não apenas como descrição de desempenho passado ou potencial, mas como subsídio à formulação de decisões sobre priorização de investimentos, seleção de corredores mais aderentes aos objetivos logísticos do projeto e organização de cenários prospectivos de desenvolvimento. A etapa 6, portanto, parte de uma base já validada em termos operacionais e evolui pela reorganização e identificação de chave analítica e propositiva, coerentemente com o escopo previsto para o modelo estratégico final do projeto.

6.2 Cenários Estratégicos e Análise de Sensibilidade do Modelo

Como importante contributo para o modelo estratégico, a formulação de cenários estratégicos decorre da necessidade de interpretar os resultados operacionais em uma perspectiva prospectiva, isto é, considerando que o desempenho das redes logísticas pode variar em função de diferentes combinações de investimentos, restrições infraestruturais e mudanças nas condições operacionais. Nesse contexto, o modelo estratégico não se limita a identificar qual corredor se mostrou mais competitivo na simulação, mas busca compreender como as alternativas reagem a variações relevantes do sistema, tais como aumento de demanda, oscilações nos custos de transporte, alteração da capacidade dos terminais e modificações no ritmo das operações de transbordo, carga e descarga. Essa abordagem é coerente com a própria definição da Etapa 6 no projeto, que prevê aplicação do modelo estratégico com teste de sensibilidade, investimentos e impactos dos projetos de redes propostos.

A construção de cenários estratégicos permite distinguir, ao menos, três níveis de leitura. O primeiro corresponde ao cenário de referência, no qual se observam as condições mais próximas da estrutura operacional atualmente disponível, com manutenção dos principais condicionantes e limitações identificados. O segundo pode ser entendido como cenário intermediário, no qual melhorias pontuais em terminais, acessos e interfaces modais são capazes de elevar a eficiência relativa de determinados corredores, sem alterar de forma estrutural a lógica geral da rede. O terceiro se configura como cenário avançado ou transformador, em que investimentos mais robustos na integração intermodal, na confiabilidade dos terminais e na expansão da capacidade logística tornam possível um reposicionamento mais profundo dos corredores no sistema de escoamento regional.

A análise de sensibilidade, por sua vez, cumpre função essencial no interior do modelo estratégico. É ele que permite verificar se as conclusões centrais da análise permanecem estáveis diante de variações plausíveis nos parâmetros mais sensíveis do sistema. Em termos metodológicos, essa etapa amplia a confiabilidade do modelo, pois desloca a atenção da simples fotografia de um cenário para a observação da resiliência analítica das soluções propostas. Assim, corredores que mantêm bom desempenho sob diferentes condições tendem a adquirir maior relevância estratégica, enquanto alternativas excessivamente dependentes de combinações muito específicas de fatores operacionais passam a ser tratadas com maior cautela no processo de priorização.

No contexto da análise de sensibilidade foi feita uma atualização na formulação dos cenários, simulando o enchimento de um barco com uma carga total de 54.000 t em Vila do Conde e em Santarém e de 60.000 t em Santos. O resultado desta atualização de simulação reforçou o teste de sensibilidade do modelo ao evidenciar que, nos corredores Sorriso–Miritituba–Vila do Conde e Sorriso–Miritituba–Santarém, a passagem de 45.000 t para 54.000 t elevou os tempos totais em todas as capacidades de barcaça simuladas. No primeiro caso, os tempos variaram de 298 h para 304 h, 318 h para 324 h e 346 h para 352 h, enquanto, no segundo, passaram de 202 h para 208 h, 222 h para 228 h e 250 h para 256 h. Nos testes com 60.000 t, os corredores com destino a Santos mantiveram comportamento competitivo, com 218 h para Sorriso–Rondonópolis–Santos e 229 h para Lucas do Rio Verde–Santos.

Na componente ferroviária foi também considerada a possibilidade de circulação de material circulante de transporte de carga com um melhor desempenho na velocidade média de circulação. Essa simulação foi feita para o (futuro) eixo ferroviário no corredor Lucas do Rio Verde–Miritituba–Vila do Conde, em cenário com Ferrogrão, a elevação da velocidade ferroviária de 12 km/h para 36 km/h reduziu o tempo total de 299 h para 238 h na carga de 45.000 t, e de 314 h para 253 h na carga de 54.000 t, evidenciando a sensibilidade do modelo à eficiência do trecho ferroviário.

A estrutura sintética desses três cenários estratégicos de desenvolvimento logístico do Arco Norte encontra-se representada na Figura 5. As principais variáveis críticas consideradas na leitura de sensibilidade do modelo estratégico, bem como seus efeitos esperados sobre os corredores logísticos, encontram-se sistematizadas no Quadro 6. Sob essa ótica, os cenários estratégicos não representam apenas narrativas abstratas sobre o futuro da rede logística, mas instrumentos de apoio à decisão construídos a partir

da combinação entre evidência operacional, análise comparativa e sensibilidade do modelo. É precisamente essa articulação que permite à Etapa 6 transformar os resultados da simulação em diretrizes para o planejamento logístico.

Esta análise de sensibilidade qualitativa pode ser complementada com uma avaliação quantitativa do impacto das diferentes variáveis nos principais indicadores financeiros do projeto, nomeadamente o Valor Presente Líquido (VPN), a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) e o Tempo de Recuperação do Capital (payback). Tal avaliação pode ser desenvolvida essencialmente de duas formas: por um lado, determinando os valores máximos e mínimos que cada um dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) poderá assumir para que o projeto permaneça economicamente viável; por outro lado, analisando o impacto nos indicadores financeiros decorrente de variações positivas ou negativas dos diferentes FCS dentro de intervalos considerados expectáveis ou plausíveis. Em termos conceptuais, esta análise implica recorrer a diferentes conceitos e ferramentas de avaliação de projetos de investimento, designadamente análise de sensibilidade, análise de cenários, avaliação do risco e modelização de fluxos de caixa descontados.

Contudo, nos casos em que existem dificuldades na estimação dos valores monetários, insuficiência de dados ou níveis elevados de incerteza, torna-se mais adequado privilegiar uma abordagem de natureza qualitativa. Considerando-se dados relativos aos investimentos necessários, custos operacionais, receitas previstas ou poupanças geradas, é possível proceder a uma avaliação económica das alternativas através de indicadores como o VPN, a TIR e o payback. Adicionalmente, considerando que a decisão poderá envolver dimensões relevantes para além das estritamente financeiras ou monetárias, poderá igualmente recorrer-se a metodologias de análise multicritério, incorporando diferentes critérios e os respetivos pesos relativos. Trata-se, contudo, de uma vertente a aprofundar em trabalhos futuros de continuação e extensão deste projeto.

6.3 Investimentos Prioritários e Impactos Esperados

A definição de investimentos prioritários constitui o desdobramento mais aplicado do modelo estratégico, pois converte a análise dos corredores e dos cenários em diretrizes concretas para o aprimoramento da rede logística. A simulação operacional mostrou que o desempenho dos corredores depende, em grande parte, da capacidade instalada nos terminais de transbordo, da regularidade das interfaces rodovia–ferrovia–hidrovia, da

eficiência das operações portuárias e da estabilidade do fluxo ao longo da cadeia. Dessa forma, os investimentos prioritários não devem ser compreendidos apenas como expansão física da infraestrutura, mas como intervenções orientadas à redução dos pontos críticos que mais comprometem a eficiência operacional do sistema.

Em termos analíticos, esses investimentos podem ser organizados em três grupos:

- i) O primeiro compreende intervenções de curto prazo, voltadas à melhoria da operação já existente, como aperfeiçoamento de terminais, racionalização de processos de carga e descarga, mitigação de tempos de espera e adequação de interfaces logísticas.
- ii) O segundo abrange investimentos de médio prazo, ligados à ampliação da capacidade de corredores e ao fortalecimento de eixos intermodais que já demonstraram desempenho promissor, mas ainda dependem de maior confiabilidade e estabilidade operacional.
- iii) O terceiro grupo reúne investimentos de caráter estruturante, associados à expansão mais profunda da rede e à consolidação de soluções intermodais capazes de produzir efeitos mais duradouros sobre o custo logístico e a competitividade regional.

Os resultados atualizados da simulação confirmam que a priorização dos investimentos deve incidir sobre os fatores de maior sensibilidade operacional e que estão diretamente relacionados a pontos frágeis do funcionamento intermodal de alguns corredores logísticos e das respectivas infraestruturas. Assim, é notório que há margem de progressão segundo uma estratégia de investimentos que retire essas fragilidades ao sistema.

Nos corredores Sorriso–Miritituba–Vila do Conde e Sorriso–Miritituba–Santarém, a elevação da carga de 45.000 t para 54.000 t ampliou os tempos totais, evidenciando a necessidade de ganhos complementares em transbordo, descarga e regularidade operacional, contrariando as atuais ineficiências nessas componentes.

No corredor Lucas do Rio Verde–Miritituba–Vila do Conde, em cenário com Ferrogrão, a elevação da velocidade ferroviária reduziu o tempo total de 299 h para 238 h na faixa de 45.000 t, o que demonstra o potencial transformador de investimentos estruturantes sobre o eixo ferro-hidroviário. Assim, uma linha ferroviária e material

circulante adequado e mais adaptada a transporte de carga com velocidade de circulação elevada permite ganhos efetivos.

Figura 5: Cenários estratégicos de desenvolvimento logístico do Arco Norte



Fonte: elaboração própria com base na consolidação dos resultados da Simulação Operacional e na Formulação do modelo estratégico do projeto.

Quadro 6: Análise de Sensibilidade do modelo estratégico por variável crítica

Variável crítica	Efeito esperado sobre os corredores	Grau de sensibilidade do modelo	Implicação para o planejamento estratégico
Capacidade dos terminais de transbordo	Afeta diretamente o tempo de espera, a fluidez das operações e a regularidade do escoamento, sobretudo nos corredores rodo-hidroviários	Alto	Priorizar investimentos em terminais e interfaces logísticas é condição central para elevar a eficiência dos corredores
Ritmo de carga e descarga portuária	Interfere no tempo total de operação e na estabilidade do fluxo, especialmente nos corredores dependentes de operações hidroviárias e ferroviárias	Alto	Melhorias operacionais e tecnológicas em portos podem gerar ganhos expressivos de desempenho
Sincronização entre modais	Condiciona a continuidade do fluxo e a estabilidade operacional dos corredores intermodais	Alto	A coordenação entre rodovia, ferrovia e hidrovia deve ser tratada como fator estratégico, e não apenas operacional
Tempo de espera para descarregamento	Amplia o ciclo logístico total e reduz a previsibilidade das operações	Médio/Alto	A mitigação de filas e a racionalização das janelas operacionais são medidas de efeito imediato sobre a competitividade
Formação de comboios fluviais	Impacta fortemente o desempenho dos corredores hidroviários, elevando a duração total do ciclo logístico	Alto	Corredores dependentes da hidrovia exigem atenção especial à escala e à regularidade da formação de comboios
Distância inicial do trecho rodoviário	Repercute sobre custo, tempo e exposição a gargalos de alimentação dos terminais	Médio	Intervenções que encurtem ou tornem mais eficiente o trecho rodoviário inicial pode melhorar a atratividade do corredor
Crescimento da demanda de transporte	Pode pressionar terminais, portos e interfaces modais, ampliando gargalos já existentes	Alto	O modelo estratégico deve considerar cenários de expansão da produção e necessidade de antecipação de capacidade
Oscilações nos custos operacionais	Alteram a competitividade relativa entre corredores e modais	Médio	A sensibilidade aos custos reforça a necessidade de diversificação modal e de redes mais resilientes
Condições de navegabilidade e sazonalidade hidroviária	Influenciam a confiabilidade das soluções fluviais e a estabilidade do escoamento	Médio/Alto	O planejamento deve incorporar a variabilidade sazonal como componente estrutural da logística amazônica
Disponibilidade e confiabilidade da operação ferroviária	Afetam a robustez dos corredores rodoferroviários e sua estabilidade temporal	Médio/Alto	A consolidação de eixos ferroviários depende não apenas da infraestrutura, mas da regularidade da operação

Fonte: elaboração própria com base na interpretação dos resultados da simulação operacional e na lógica analítica do modelo estratégico proposto.

Nos corredores com destino a Santos, os testes com 60.000 t preservaram desempenho competitivo, com 218 h para Sorriso–Rondonópolis–Santos e 229 h para Lucas do Rio Verde–Santos, reforçando a relevância de soluções ferroviárias para cenários de maior escala de escoamento. Assim, a utilização de transporte marítimo com barcos de maior tonelagem terá que ter correspondência no transporte que liga as zonas de produção aos portos onde esse tipo de navios atraca.

A leitura do Quadro 7 evidencia que os investimentos prioritários não se restringem à expansão física da infraestrutura, mas envolvem também intervenções operacionais e de governança capazes de produzir efeitos relevantes sobre a eficiência, a confiabilidade e a competitividade dos corredores analisados.

Os impactos esperados desses investimentos devem ser compreendidos em múltiplas dimensões:

- a. Do ponto de vista logístico, espera-se redução de tempos totais de operação, maior regularidade dos fluxos e menor exposição a gargalos críticos.
- b. Do ponto de vista econômico, os ganhos tendem a aparecer na forma de maior competitividade dos corredores, racionalização dos custos de transporte e ampliação da capacidade de resposta do sistema diante do crescimento da demanda.
- c. Na perspectiva estratégica, a priorização adequada de investimentos contribui para fortalecer o papel do Arco Norte como alternativa efetiva ao padrão histórico de escoamento dependente de longos corredores rodoviários até os portos do Sul e Sudeste.

Fica, portanto, evidente que a discussão sobre investimentos prioritários não se limita à enumeração de obras ou ações desejáveis. Ela corresponde, antes, a uma proposta de hierarquização de intervenções a partir da evidência produzida pela pesquisa, em consonância com a finalidade mais ampla do projeto de oferecer suporte técnico à formulação de estratégias de utilização das infraestruturas portuárias e de transporte, com efeitos sobre os custos logísticos e sobre a eficiência do escoamento da produção.

6.4 Síntese Final do Modelo Estratégico

A síntese final do modelo estratégico decorre da articulação entre três níveis de análise desenvolvidos ao longo do projeto: a base diagnóstica e territorial construída nas

etapas iniciais, a modelagem e hierarquização das alternativas desenvolvidas em 2024 e a validação operacional dos corredores realizada na Etapa 5. Neste âmbito, o que a Etapa 6 acrescenta é a reorganização desses resultados em uma perspectiva estratégica integrada, na qual os corredores deixam de ser apenas objetos de comparação e passam a constituir alternativas de planejamento avaliadas à luz de sua estabilidade operacional, de sua capacidade de resposta a diferentes cenários e de sua aderência a objetivos mais amplos de competitividade e eficiência logística.

O modelo estratégico final proposto pelo ARCLOG NORTE não deve ser entendido como uma solução única e rígida, mas como um instrumento de apoio à decisão capaz de orientar escolhas em ambiente de incerteza. Sua principal contribuição está em oferecer uma leitura articulada entre desempenho operacional, gargalos logísticos, sensibilidade a mudanças de parâmetros e prioridades de investimento, sob diferentes condições de carga, capacidade operacional e integração modal, permitindo que gestores públicos e privados visualizem com maior clareza os efeitos potenciais de diferentes trajetórias de desenvolvimento da rede. Nessa medida, o modelo não substitui a decisão política ou empresarial, mas qualifica tecnicamente o processo decisório.

Por outro lado, o modelo estratégico não se encerra nele próprio, já que deve constituir uma alavanca para uma discussão efetiva entre os diferentes atores na procura de opções e soluções econômicas e tecnológicas para promover soluções resilientes, transformando a estratégia em ações que garantam uma resposta eficaz aos desafios atuais e futuros. A ação concertada a implementar entre os diversos atores advém de atuarem como atores efetivos na política pública do Brasil e dos Estados interceptados pelos corredores analisados. Assim, para além dos decisores políticos, que são vitais para o processo, é fundamental incluir no debate sobre a escolha de soluções os produtores agrícolas, já que estes são também atores muito relevantes para o crescimento da produção, que funciona como um elemento indutor forte para manter e melhorar a cadeia logística. São ainda intervenientes diretos na cadeia logística os atores que têm uma intervenção nas operações logísticas de transporte nos diversos modos rodo-ferro-hidro e na operacionalização dos transbordos entre modos, bem como os responsáveis pelas operações portuárias, que disponibilizam os seus meios e serviços logísticos para a ligação entre o transporte interno no Brasil e os grandes operadores do transporte marítimo mundial, permitindo o escoamento internacional da produção feita no Brasil.

Em síntese, este relatório final visa, além de tudo que é suportado pelo trabalho científico realizado e que nunca se encontra fechado, demonstrar que a melhoria da competitividade logística do Arco Norte depende menos de intervenções isoladas e mais da construção de arranjos intermodais capazes de combinar capacidade, confiabilidade e eficiência operacional. A contribuição central do modelo estratégico consiste justamente em mostrar que a viabilidade dos corredores deve ser analisada de forma sistêmica, considerando simultaneamente seus atributos físicos, operacionais e estratégicos a viabilidade dos corredores deve ser analisada de forma sistêmica, considerando simultaneamente seus atributos físicos, operacionais e estratégicos, sob diferentes condições de carga, capacidade operacional e integração modal. Nessa perspectiva, a pesquisa efetuada no âmbito do projeto, conclui que a formulação de políticas e investimentos voltados ao Arco Norte ganha em consistência quando apoiada em evidências comparativas, simulações operacionais e análise de cenários, como as aqui desenvolvidas. Dessa forma, o Capítulo 6 encerra não apenas a Etapa 6, mas o próprio percurso analítico do projeto, transformando a acumulação de dados, modelos e simulações em uma proposta integrada de leitura estratégica das redes logísticas amazônicas. É nessa passagem da análise para a orientação estratégica que se afirma o caráter aplicado do ARCLOG NORTE como instrumento técnico de apoio ao planejamento e à tomada de decisão.

Quadro 7: Investimentos prioritários e impactos esperados por tipo de intervenção

Tipo de intervenção	Horizonte temporal	Conteúdo principal	Impacto logístico esperado	Impacto estratégico esperado
Melhoria operacional de terminais e interfaces	Curto prazo	Aperfeiçoamento de processos de carga, descarga, transbordo, gestão de filas e janelas operacionais	Redução de tempos de espera, maior fluidez operacional e melhor regularidade do escoamento	Ganhos imediatos de eficiência sem necessidade de grandes expansões físicas
Adequação de capacidade em pontos críticos	Curto/Médio prazo	Ampliação pontual de pátios, acessos, áreas de apoio e capacidade de recepção/expedição	Mitigação de gargalos localizados e aumento da confiabilidade do fluxo	Fortalecimento dos corredores já consolidados e redução de vulnerabilidades operacionais
Qualificação das interfaces rodovia–hidrovia	Médio prazo	Melhoria de acessos terrestres, terminais de transbordo e articulação entre modais	Maior eficiência nos corredores rododroviários e redução de perdas por descontinuidade modal	Consolidação do papel estratégico do Arco Norte no escoamento intermodal
Qualificação das interfaces rodovia–ferrovia	Médio prazo	Ajustes em terminais ferroviários, sincronização operacional e integração dos fluxos de alimentação	Maior estabilidade dos corredores rododroviários e melhor aproveitamento da capacidade ferroviária	Reforço da competitividade dos corredores de longa distância com forte participação ferroviária
Melhoria da eficiência portuária	Médio prazo	Racionalização de descarga, armazenagem, transferência e expedição portuária	Redução do tempo total do ciclo logístico e maior previsibilidade das operações	Elevação da atratividade dos portos estratégicos como nós centrais da rede
Ampliação da confiabilidade hidroviária	Médio/Longo prazo	Intervenções voltadas à navegabilidade, regularidade operacional e organização dos comboios	Redução da sensibilidade sazonal e maior estabilidade do transporte fluvial	Aumento da robustez dos corredores amazônicos de maior escala
Expansão estruturante da infraestrutura intermodal	Longo prazo	Investimentos de maior porte em ferrovias, terminais integrados e eixos logísticos estruturantes	Reconfiguração do desempenho dos corredores e ganhos mais amplos de capacidade e eficiência	Mudança estrutural do padrão logístico regional e redução mais consistente do Custo Brasil
Sistemas de monitoramento e apoio à decisão	Curto/Médio prazo	Ferramentas de acompanhamento operacional, integração de dados e suporte ao planejamento	Melhor controle do fluxo, maior capacidade de resposta e ajuste fino das operações	Aprimoramento da governança logística e qualificação do processo decisório

Fonte: elaboração própria com base na consolidação dos resultados da simulação operacional e na interpretação estratégica dos corredores analisados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto ARCLOG NORTE – Modelo Estratégico de Análise e Formação de Redes de Transportes na Amazônia como Alternativa de Redução do Custo Brasil permitiu cumprir, de forma articulada e cumulativa, o percurso investigativo originalmente proposto na submissão ao CNPq, convertendo um problema logístico de elevada complexidade em uma agenda estruturada de pesquisa aplicada, modelagem, simulação e apoio à decisão. Tal como previsto no projeto inicial, a investigação percorreu as seis etapas planejadas, desde o levantamento e a estruturação do banco de dados até a apresentação do modelo estratégico final, com teste de sensibilidade, proposição de investimentos e avaliação de impactos, consolidando um percurso metodológico coerente com os objetivos científicos, técnicos e estratégicos da pesquisa.

As *Etapas 1 e 2* cumpriram a função de estabelecer a base diagnóstica e informacional do projeto, mediante levantamento extensivo de dados, estruturação de bases georreferenciadas, pesquisa documental, trabalho de campo e validação com stakeholders. As *Etapas 3 e 4*, por sua vez, elevaram o patamar analítico da investigação ao incorporar modelagem de demanda, segmentação territorial, análise multicritério, hierarquização de rotas e portos e simulações de cenários de infraestrutura, produzindo evidências quantitativas e espaciais que orientaram a transição para as fases finais. As *Etapas 5 e 6* permitiram testar operacionalmente as alternativas prospectadas, identificar gargalos, comparar a estabilidade relativa dos corredores, formular cenários estratégicos, hierarquizar investimentos e consolidar um modelo estratégico final orientado ao planejamento logístico do Arco Norte. Nesse sentido, pode-se afirmar que os objetivos centrais do projeto foram atingidos: compreender os condicionantes logísticos do escoamento da produção, estruturar um modelo de análise das redes de transporte e oferecer subsídios qualificados para a redução do Custo Brasil sob condições econômicas, sociais e ambientais da região amazônica.

Ao longo desse percurso, os resultados confirmaram a pertinência da hipótese central do projeto: a melhoria da competitividade logística do Arco Norte não depende de soluções isoladas, mas da articulação entre infraestrutura, operação, integração modal e priorização estratégica de investimentos. A pesquisa demonstrou que a intermodalidade constitui elemento decisivo para ganhos substantivos de eficiência, mas também revelou que tais ganhos só se materializam quando acompanhados de maior confiabilidade

operacional, melhor desempenho das interfaces logísticas e capacidade de resposta dos terminais, portos e corredores de transporte. Com isso, o projeto não apenas identificou alternativas mais promissoras, mas qualificou tecnicamente as condições sob as quais essas alternativas se tornam mais ou menos robustas, oferecendo uma contribuição efetiva para o planejamento público e privado das redes logísticas amazônicas.

Importa reconhecer, contudo, que a execução do projeto também exigiu ajustes de percurso. Embora o desenho original previsse, entre os resultados esperados, a obtenção de um modelo estratégico de análise de redes com apoio em Programação Linear *Fuzzy*, a trajetória empírica da pesquisa mostrou a necessidade de calibrar o caminho metodológico diante das características e limitações da realidade observada. A heterogeneidade e a granularidade desigual de parte dos dados, a dependência de fontes secundárias para variáveis operacionais específicas, as incertezas inerentes à sazonalidade hidroviária, ao calado útil e aos cronogramas de implantação de obras, bem como a necessidade de dialogar continuamente com a evidência produzida em campo, conduziram a um modelo final mais fortemente apoiado na integração entre SIG, análise multicritério, simulação operacional, cenários e apreciação estratégica dos corredores. Esses desvios, longe de representar fragilidade, expressam a maturidade metodológica do projeto: a capacidade de adaptar instrumentos analíticos à realidade concreta, preservando o rigor científico e a utilidade aplicada dos resultados.

Desse modo, o relatório final evidencia que o ARCLOG NORTE foi além da simples descrição dos entraves logísticos do Arco Amazônico. O projeto estruturou uma base analítica inédita e integrada, promoveu diálogo entre academia, empresas e agentes institucionais, testou alternativas em diferentes níveis de análise e entregou um modelo estratégico final capaz de apoiar decisões sobre corredores, terminais, investimentos e políticas de infraestrutura. Sua contribuição científica reside na integração de métodos e escalas de análise; sua contribuição técnica, na capacidade de transformar dados e simulações em diretrizes operacionais e estratégicas; e sua contribuição política, na oferta de evidências para orientar ações que conciliem competitividade econômica, integração regional e sustentabilidade.

Cabe registrar, como elemento fundamental no encerrar do projeto, que a consolidação do relatório final incorporou atualização dos resultados operacionais nas etapas finais da pesquisa, de modo a assegurar compatibilidade entre o texto analítico, os quadros sintéticos e as tabelas de simulação. Esse ajuste final não alterou a lógica

interpretativa central do estudo, mas permitiu refinar a leitura comparativa dos corredores e fortalecer a consistência interna do modelo estratégico apresentado.

Em síntese, o projeto cumpriu sua missão. Todas as etapas previstas foram executadas, os objetivos essenciais foram alcançados e o conhecimento produzido revelou-se consistente, aplicável e socialmente relevante. Ao final, o ARCLOG NORTE deixa como legado não apenas um relatório conclusivo, mas um instrumento técnico de apoio à decisão, uma base para desdobramentos acadêmicos futuros e uma contribuição concreta para o debate sobre os caminhos de transformação da logística amazônica e de redução do Custo Brasil.

Por fim, cumpre registrar o agradecimento a todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta pesquisa ao longo de suas diferentes etapas. Este reconhecimento estende-se aos pesquisadores, colaboradores, bolsistas e demais integrantes da equipe do projeto, cujo empenho, dedicação acadêmica e compromisso com a qualidade científica foram essenciais para o desenvolvimento do ARCLOG NORTE. Abrange, igualmente, os profissionais e instituições que apoiaram a pesquisa por meio do compartilhamento de informações, interlocução técnica, participação em discussões, validações e suporte às atividades de campo e de sistematização analítica. De modo especial, agradece-se às empresas parceiras Rodofluvial Banav Ltda e Mega Logística Serviços Portuários Ltda, cuja colaboração contribuiu decisivamente para aproximar a investigação das condições concretas da logística regional e para fortalecer o caráter aplicado do projeto. A todos os que tornaram possível este percurso investigativo, expressa-se o mais sincero reconhecimento e agradecimento.

REFERÊNCIAS

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: índice de desenvolvimento humano municipal*. Atlas Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: índice Theil-L – medida de distribuição de renda*. Atlas Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: participação da agropecuária no valor adicionado bruto*. Atlas Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: participação da indústria no valor adicionado bruto*. Atlas Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: participação dos serviços no valor adicionado bruto*. Atlas Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: participação da administração pública no valor adicionado bruto*. Atlas Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: percentual de cobertura vegetal natural*. Atlas Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil: concentração dos focos de calor (valor normalizado – Brasil = 1000, %)*. Atlas Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*. Atlas Brasil, 2024. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 30 out. 2023.

BANERJEE, A.; DUFLO, E.; QIAN, N. On the road: access to transportation infrastructure and economic growth in China. *Journal of Development Economics*, v. 145, p. 102442, 2020.

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

BRANCO, J. E. H. et al. Mutual analyses of agriculture land use and transportation networks: the future location of soybean and corn production in Brazil. *Agricultural Systems*, v. 194, p. 103264, 2021.

BRASIL. *Resolução n. 196, de 10 de outubro de 1996*. Brasília, DF: [s. n.], 1996.

BRASIL. *Lei n. 13.709, de 14 de agosto de 2018*. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

BRASIL. *Estradas, comércio e desenvolvimento: evidências do boom agrícola no Brasil*. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Getúlio Vargas, 2021. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10438/31967>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). *Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho: transporte & desenvolvimento*. Brasília, DF: CNT, 2015. Disponível em: <<https://cnt.org.br/entraves-logisticos-escoamento-soja-milho>>. Acesso em: 20 maio 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). *Plano CNT de transporte e logística 2018*. Brasília, DF: CNT, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/112>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CNT. *Arco Norte: um desafio logístico*. Brasília, DF: 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.

DURAN, O.; AFONSO, P. S. L. P. An activity based costing decision model for life cycle economic assessment in spare parts logistic management. *International Journal of Production Economics*, v. 222, p. 107499, 2020.

EBRAHIMNEJAD, A. Fuzzy linear programming approach for solving transportation problems with interval-valued trapezoidal fuzzy numbers. *Sadhana*, v. 41, p. 299-316, 2016.

FRIGOTTO, G. *Educação e a crise do trabalho: perspectivas de final de século*. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

GHANBARI, R. et al. Fuzzy linear programming problems: models and solutions. *Soft Computing*, v. 24, n. 13, p. 10043-10073, 2020.

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.

HIGA, A. P. H. et al. Grain flow through the Northern Arch of Brazil. In: LI, Y. et al. (eds.). *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 1379-1387. (Lecture Notes in Civil Engineering, v. 264).

INFRA S.A. *Observatório Nacional de Transporte e Logística. Plano Nacional de Logística 2035: cenário base 2017. Densidade de tráfego de carga – TKU por km²*. Brasília, DF: INFRA S.A., [2024]. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/planejamento/plano-nacional-de-logistica/plano-nacional-de-logistica-2035/shapefiles/>>. Acesso em: 17 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 30 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades@: panorama dos municípios brasileiros*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção agrícola municipal 2021*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>>. Acesso em: 30 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produto Interno Bruto dos Municípios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 30 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2021*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022d. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>>. Acesso em: 30 out. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produto Interno Bruto (PIB) per capita. In: *Anuário Estatístico do Brasil 2023 – Contas Nacionais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://anuario.ibge.gov.br/2023/agregados-macroeconomicos/contas-nacionais/aeb-2023-tabelas-contas-nacionais/22298-pib-per-capita.html>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q>>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MACHADO, R. S.; IZAIAS, S. J.; PALLAORO, D. S.; PEREIRA, P. S. X.; MUNIZ, M. M. Logística da BR-163 nas exportações de soja da Cooperlucas, Mato Grosso. *REFAS - Revista Fatec Zona Sul*, v. 5, n. 4, p. 1-12, 2019.

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

OLIVEIRA, V. H. P.; TOBIAS, M. S. G.; ROCHA, M. P. C. P.; FARIAS, V. J. C.; ALCÂNTARA NETO, M. C.; SOUZA, M. M.; ARAÚJO, L. F. Optimization method applied to decision-making on intermodal alternative for soybean outflow in the State of Pará-Brazil. *International Journal for Innovation Education and Research*, v. 9, n. 7, p. 124-140, 2021.

PAIVA JUNIOR, 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.

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, 2024, Veracruz. *Anais...* Veracruz: IPIN, 2024b.

VALE, R. M.; FREITAS, T. G.; PINHEIRO, A. *Arco Norte: um desafio logístico*. Brasília, DF: Câmara dos Deputados - Coordenação Edições Câmara, 2016.

VALVERDE, M. C.; PAIVA JR., H. Temperatura do ar e emissões urbanas em região industrial de São Paulo, Brasil. *Acta Brasiliensis*, v. 2, n. 2, p. 45-52, 2018.

VIDAL, V. V.; SANTOS, M. M. C. Responsabilidade socioambiental frente aos avanços em logística portuária na Amazônia. *Novos Cadernos NAEA*, v. 25, n. 1, 2022.

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



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



ARCLOG NORTE

