

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

William Leles de Souza Costa

**MODELAGEM GEOGRÁFICA COMO RECURSO PARA TRANVERSALIDADE DO  
PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES**

Belo Horizonte  
2023

William Leles de Souza Costa

**MODELAGEM GEOGRÁFICA COMO RECURSO PARA TRANVERSALIDADE DO  
PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES**

**Versão final**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Análise Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega

Belo Horizonte

2023



C837m  
2023

Costa, William Leles de Souza.

Modelagem geográfica como recurso para transversalidade do planejamento de transportes [manuscrito] / William Leles de Souza Costa. – 2023.

224 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2023.

Área de concentração: Análise, Modelagem e Gestão de Sistemas Ambientais.

Bibliografia: 185-210.

Inclui apêndices.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Transporte – Planejamento – Teses. 3. Meio ambiente – Brasil – Teses. 4. Impacto ambiental – Brasil – Teses. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(81)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

### FOLHA DE APROVAÇÃO

### MODELAGEM GEOGRÁFICA COMO RECURSO PARA TRANVERSALIDADE DO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

**WILLIAM LELES DE SOUZA COSTA**

Tese de doutorado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Doutor em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE, MODELAGEM E GESTÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega (UFMG)

Prof. Britaldo Silveira Soares Filho (UFMG)

Prof. Renato Silva Lima (Universidade Federal de Itajubá)

Prof. Doris Aleida Villamizar Sayago (UnB)

Prof. Andreas Kindel (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

Belo Horizonte, 06 de março de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Renato da Silva Lima, Usuário Externo**, em 06/03/2023, às 12:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega, Professor do Magistério Superior**, em 06/03/2023, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Britaldo Silveira Soares Filho, Membro**, em 08/03/2023, às 08:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Doris Aleida Villamizar Sayago, Usuário Externo**, em 13/03/2023, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2120609** e o código CRC **A4EA988B**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
[NOME DA UNIDADE]  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM [XXXX]

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO / TESE

Realizou-se, no dia **06 de março de 2023**, às 08:30 horas, no Instituto de Geociências, a defesa de tese, intitulada "**A Modelagem Geográfica como recurso para transversalidade do planejamento de transporte**", apresentada por **William Leles de Souza Costa**, número de registro 2019656102, graduado no curso de Engenharia de Agrimensura, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega (UFMG) - Orientador, Prof. Britaldo Silveira Soares Filho (UFMG), Prof. Renato Silva Lima (Universidade Federal de Itajubá), Prof. Doris Aleida Villamizar Sayago (UnB) e Prof. Andreas Kindel (Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

A Comissão considerou a dissertação:

(x) Aprovada

( ) Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

**Belo Horizonte, 06 de março de 2023.**

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Renato da Silva Lima, Usuário Externo**, em 06/03/2023, às 12:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega, Professor do Magistério Superior**, em 06/03/2023, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Britaldo Silveira Soares Filho, Membro**, em 08/03/2023, às 08:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Doris Aleida Villamizar Sayago, Usuário Externo**, em 13/03/2023, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANDREAS KINDEL  
Data: 16/03/2023 22:48:43-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2120471** e o código CRC **C014DB6F**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por permanecer comigo o tempo todo e permitir chegar até aqui.

Ao Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega pela valiosa orientação, amizade e acompanhar de perto esse trabalho.

Ao Prof. Britaldo Silveira Soares Filho pelo apoio e disponibilidade sempre.

À Universidade Federal de Minas Gerais pelo acolhimento e pela oportunidade de fazer meu doutorado em uma instituição de excelência.

À equipe do Centro de Sensoriamento Remoto pela enorme contribuição durante a execução desse trabalho.

Aos meus pais Maria José e Levy (*in memoriam*), que, se estivessem aqui estariam muito felizes.

A minha esposa Maria de Lourdes e meu filho Samuel pelo apoio, companheirismo e pela vida compartilhada.

Finalmente, ao Jack e Escote por me ouvir em todos os momentos.

## RESUMO

Se apoiou, historicamente, o planejamento das infraestruturas de transporte, em aspectos econômicos e estratégicos, quando não em interesses políticos, para o desenho das rodovias e ferrovias. A indução das atividades humanas nas regiões diretamente interceptadas por essas infraestruturas é notória, fato comprovado pela forte correlação entre o transporte e desenvolvimento econômico. Grande parte da malha rodoviária nacional foi planejada e executada ainda na ótica dos interesses estratégicos voltados à ocupação do interior do país, e os efeitos colaterais de uma visão unilateral tem sido sentido, sobretudo em áreas então remotas como a dos biomas Amazônia e Cerrado. Há atualmente uma clara regulação ambiental a ser seguida para novos empreendimentos, porém questiona-se se a amplitude geográfica e temporal das análises são suficientes para garantir seu sucesso. As políticas públicas, sociais e ambientais incluídas no processo de planejamento de transportes, mesmo quando respeitadas, não têm sido suficientemente munidas por informações capazes de antecipar o conhecimento de problemas futuros. O planejamento de transportes, que em essência está intrinsecamente relacionado ao uso e ocupação do solo e ao planejamento territorial, sente, no presente, os reflexos da obsolescência de metodologias incompatíveis com o atual estado da arte. Neste sentido, esta tese de doutorado reúne estudos e desenvolvimentos realizados em prol da modernização do planejamento de transportes, mais especificamente voltados à componente geográfica do projeto e análise de informações de cunho socioambiental junto às informações de parâmetros construtivos, logístico e econômicos para apoiar o complexo sistema de tomada de decisão. Para tanto, foram propostas duas abordagens, a primeira referente à modelagem de corredores de viabilidade já em estágio avançado de automatização, e a segunda referente à modelagem preditiva de cenários para simulação de alteração de rotas e conseqüentemente das macrobacias logísticas, implementado para *comodities* agrícolas. Todos os modelos são apresentados em detalhe na tese, visando fomentar a transferência de conhecimento e a replicabilidade dos modelos. Toda a implementação foi desenvolvida com ferramentas livres e utilizando dados públicos oficiais. Os dois modelos desenvolvidos foram aplicados em estudos reais e polêmicos, sendo o primeiro referente a corredores de viabilidade alternativos à proposta dos segmentos da BR080 e BR242 ao sul da Reserva Indígena do Xingú e o segundo referente à modelagem topológica vetorial de rotas e macrobacias logísticas. Os resultados comprovam a eficiência da modelagem computacional e sua alta capacidade de reunir, de forma organizada e transparente uma vasta coleção e dados em amplitude geográfica em nível federal, e para suprir demandas conhecidas e ainda latentes do planejamento de transporte e facilitar a transversalidade do tema para com outras pastas como meio ambiente, economia, justiça e planejamento. A pesquisa dialoga com os objetivos de desenvolvimento sustentável 9, 13, 15 e 17 da Agenda 2030 das Organização das Nações Unidas.

Palavras-Chave: Modelagem geográfica. Planejamento de transporte. Meio ambiente. Infraestrutura. Impacto socioambiental.

## ABSTRACT

Transportation planning of critical infrastructure historically has been based on economic and strategic aspects, and also on political interests for shaping the highways and railways. These infrastructures notoriously drive human activities within regions directly intercepted, which is proved by the strong correlation between transport and economic development. The majority of the national road network was planned and built considering strategic interests that pushed occupation countryside, and the side effects of a unilateral standpoint still have been felt, especially in remote areas such as the Amazon and Cerrado biomes. Currently, there is a clear environmental regulation to be followed for new ventures, however, it is questioned whether the geographic and temporal range of the analyzes is sufficient to guarantee their success. Public, social, and environmental policies included in the transport planning process, even when respected, have not been sufficiently equipped with information capable of anticipating knowledge of future problems. Transport planning, which is intrinsically related to land use and occupation and territorial planning, currently feels the effects of the obsolescence of methodologies incompatible with the current state of the art. Indeed, this Ph.D. dissertation brings together studies and developments towards the modernization of transport planning, more specifically aimed at the geographical component of the project and analysis of socio-environmental information together with information on constructive, logistical, and economic parameters to support the complex decision-making system. Thus, two approaches were proposed, the first referring to modeling feasibility corridors already in an advanced stage of automation and the second to predictive modeling of scenarios for simulating changes in routes and, consequently, in logistic macro-basins implemented for agricultural commodities. The document presents all two models in detail to promote knowledge transfer and model replicability. The entire implementation was developed with free tools and using official public data. The implementation was entirely developed using free software and using official public data. The two models developed were applied in real-case and controversial studies. The first refers to alternative feasibility corridors in the proposal for the BR080 and BR242 segments south of the Xingú Indigenous Reserve and the second relates to vector topological modeling of routes and logistical macro-basins. The results prove the efficiency of computational modeling and its high capacity to bring together, in an organized and transparent way, a vast collection and data in a geographic range at the federal level to meet both well-known and latent demands of transport planning. Moreover, the models facilitate the transversality of the transportation planning processes with other areas such as the environment, economy, justice, and planning. The research meets the sustainable development goals 9, 13, 15, and 17 of the United Nations 2030 Agenda.

**Keywords:** Geographic modeling. Transportation planning. Environment. Infrastructure. Socio-environmental impact.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plano de Viação Federal, apresentado pela Comissão de 1890. Fonte: Coimbra (1974).	32
Figura 2: Planos rodoviários Catramby de 1926 e Schnoor de 1927. Fonte: Coimbra (1974)	33
Figura 3: Plano Geral de Viação Nacional, ou Plano Rodoviário do DNER. Fonte: Coimbra (1974)	34
Figura 4: BR-230 - Rodovia Transamazônica	37
Figura 5: Exemplos de propaganda da abertura e estradas e oportunidades de negócios em prol da política de ocupação de terras promovida pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia, típicas da década de 1970. Fonte: Nobrega (2020).	38
Figura 6 : Ferrovia Norte Sul - EF-151	42
Figura 7: Ferrovia Integração Centro Oeste – EF-354	44
Figura 8: Ferrovia Integração Oeste Leste – EF-334.	46
Figura 9: Ferrovia Transnordestina - EF-232 e EF-116.	48
Figura 10: Relação dos grupos de carga do PNL 2035 de acordo com EPL.	52
Figura 11: Infraestrutura de transporte atual e proposta no PLN 2035. Fonte: Costa et al. (2022).	53
Figura 12: Infraestrutura de transporte atual, FICO, Ferrogrão e RUMO Malha Norte.	55
Figura 13: Espacialização em perspectiva do custo de transporte de granel sólido agrícola no Brasil considerando a infraestrutura de transporte do PLN de 2017. Adaptado de Costa et al. (2022).	58
Figura 14: Sobreposição das infraestruturas existentes e planejadas com as áreas protegidas.	61
Figura 15: Diagrama geral de entidades e relacionamento da modelagem conceitual das etapas do modelo de inteligência geográfica para processamento de corredores de transportes (Adaptado de Nóbrega <i>et al.</i> , 2016).	77
Figura 16: Arquitetura dos agrupamentos de variáveis e do processo hierárquico de apoio a tomada de decisão para corredores ferroviários similar ao implementado no modelo. Fonte: Nobrega (2020).	79
Figura 17:Arquitetura do modelo aplicado a corredores de viabilidade para implantação de ferrovias contemplando a organização categórica e sequencial dos dados. Fonte: Nóbrega et al. (2016).	81
Figura 18: Exemplo do processo de delimitação da área de estudo para operação do modelo.	82

Figura 19: Processo de integração dos mapas temáticos para composição da superfície de esforço, procedimento similar ao adotado ao integrar as variáveis de cada cenário no nível 1 e ao integrar os cenários no nível 2. Adaptado de Sadasivuni <i>et al.</i> , (2009).	85
Figura 20: Exemplo da interpretação e conversão de formato de dados como primeira etapa no processo de modelagem geográfica e a respectiva combinação de variáveis na composição da superfície de esforço acumulado, também conhecida como superfície de custo ou de fricção.	86
Figura 21: Representação do processo de cálculo do corredor de viabilidade a partir da integração de duas superfícies de afastamento. (NOBREGA, 2020).	87
Figura 22: Grupo 1 – Entrada de dados	90
Figura 23: Grupo 2 – Cálculo dos mapas de distancias.	91
Figura 24: Grupo 3 – Cálculo dos mapas de peso - AHP	92
Figura 25: Grupo 4 – Cálculo do mapa de fricção	92
Figura 26: Grupo 5 – Mapa de custos e Área Alternativa.	93
Figura 27: Malha multimodal em operação no ano de 2020 (superior) e malha multimodal com as intervenções propostas no Plano Nacional de Logística para operação em 2025 (inferior) que foram utilizadas no modelo. Fonte: Empresa de Planejamento e Logística, 2018.	96
Figura 28: Diagrama de entidade e relacionamento para a modelagem conceitual do processo.	97
Figura 29: Fluxograma comentado da modelagem lógica. Fonte Medeiros et al. (no prelo).	98
Figura 30: Modelo desenvolvido no Dinamica EGO para cálculo das rotas de menor curso e cálculo das macrobacias logísticas.	102
Figura 31: Custo acumulado de transporte de soja calculado para o porto de Itaqui-MA.	103
Figura 32: Mapa de custo acumulado para identificação das macrobacias logísticas de soja combinando os modos rodoviário, ferroviário e rodoviário para 2020 e 2025.	104
Figura 33: Rota de Sapezal para o porto de Santarém no cenário 2020 (esquerda) e 2025 (direita). Fonte: Medeiros (2021),	105
Figura 34: Diagrama de entidade e relacionamento para a modelagem conceitual do processo	107
Figura 35: Esquema da preparação da base de dados.	109
Figura 36: Esquema da preparação da base de dados e inserção no banco de dados	109
Figura 37: Representação gráfica de uma rede de transporte	111
Figura 38: Modelo proposto para simulação da macrologística nacional para determinado produto	112



Figura 39: Visão geral do modelo físico com os 6 submodelos implementados no Dinamica-EGO	113
Figura 40: Grupo 1 do modelo	114
Figura 41: Grupo 2 do modelo	115
Figura 42: Grupo 3 do modelo	116
Figura 43: Grupo 4 do modelo	116
Figura 44: Grupo 5 do modelo	117
Figura 45: Grupo 6 do modelo	117
Figura 46: Grupo 7 do modelo	118
Figura 47: Localização da área de estudo dos segmentos BR-242 e BR080 considerados.	122
Figura 48: Sobreposição de camadas socioambientais à área integrada de estudo dos segmentos da BR242 e BR080 ressaltando a preocupação justificada no estudo.	124
Figura 49: Detalhe sobre o ponto de origem do segmento da BR-080 localizado em Luiz Alves-GO, uma pequena vila localizada em uma APA as margens do Rio Araguaia e distante 40km do entroncamento rodoviário de São Miguel do Araguaia-GO	125
Figura 50: Ilustração do processo de integração das camadas do modelo utilizando as regras estabelecidas para a geração da superfície de esforço.	130
Figura 51: Representação das feições que representam as impedâncias consideradas no modelo (esquerda) e as três superfícies de custo acumulado resultante dos cenários computador (direita).	132
Figura 52: Corredores de viabilidade resultantes para os três cenários computados para o estudo do segmento da BR-242 (esquerda) e BR-080 (direita).	133
Figura 53: Corredores de viabilidade resultantes da ligação direta entre Luiz Alves-GO e Santiago do Norte-MT calculados para os três cenários avaliados	136
Figura 54: Fluxograma comentado do modelo	141
Figura 55: Fluxo de carga por trecho – Cenário Base X Ferrogrão	142
Figura 56: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Ferrogrão	144
Figura 57: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Ferrogrão	146
Figura 58: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Ferrogrão	147
Figura 59: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO	148
Figura 60: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FICO	150

Figura 61: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário FICO	151
Figura 62: Bacias logística dos portos – Cenários Base X FICO	152
Figura 63: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FIOL	153
Figura 64: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FIOL	154
Figura 65: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário FIOL	155
Figura 66: Bacias logística dos portos – Cenários Base X FIOL	155
Figura 67: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Rumo Malha Norte	156
Figura 68: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Rumo Malha Norte	157
Figura 69: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário RUMO Malha Norte	159
Figura 70: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Rumo Malha Norte	159
Figura 71: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Transnordestina	161
Figura 72: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Cenário Transnordestina	161
Figura 73: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte	162
Figura 74: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte	163
Figura 75: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Ferrogrão e RUMO Malha Norte	165
Figura 76: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Ferrogrão e Rumo Malha Norte	165
Figura 77: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO-FIOL-FNS	167
Figura 78: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário Nova FICO-FIOL-FNS	168
Figura 79: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Nova FICO-FIOL-FNS	170
Figura 80: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Nova FICO-FIOL-FNS	171
Figura 81: Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Projetos estudados	172
Figura 82: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário com projetos estudados	174

Figura 83: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário com todos os projetos	175
Figura 84: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Todos projetos estudados	176
Figure 85: Visão geral do modelo com os 5 submodelos supracitados	221
Figure 86: Submodelo 2 responsável pelo cálculo das superfícies de distâncias euclidianas para as variáveis consideradas no modelo.	222
Figure 87: Submodelo 3 responsável pelo categorização das superfícies e atribuição dos pesos para as variáveis.	223
Figure 88: Submodelo 4 responsável pela integração das superfícies ponderadas e cálculo da superfície de custo acumulado, também chamada de superfície de esforço ou fricção.	223
Figure 89: Submodelo, responsável pelo cálculo das superfícies de custo de distância, cálculo do corredor de viabilidade, a integração das superfícies ponderadas e cálculo da superfície de custo acumulado, também chamada de superfície de esforço ou fricção	224

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos da consolidação das regras durante a etapa de modelagem lógica de um corredor de viabilidade.	84
Tabela 2: Organização da base de dados	88
Tabela 3: Ferramentas de geoprocessamento empregadas na modelagem de corredores de viabilidade	89
Tabela 4: Dados de entrada do modelo, formato e fonte. Fonte: Autores, 2021.	100
Tabela 5: Resultados da comparação entre os portos.	119
Tabela 6: dados utilizados no estudo, fonte e formato.	126
Tabela 7: Regras de modelagem no primeiro nível formato.	127
Tabela 8: Ponderações atribuídas aos cenários avaliados advindas.	128
Tabela 9: Métricas calculadas para os corredores de viabilidade da BR-242 e BR080	134
Tabela 10: Métricas calculadas para os corredores de viabilidade calculados	137
Tabela 11: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenário Base X Ferrogrão	142
Tabela 12: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Ferrogrão	145
Tabela 13: Portos impactados– Cenários Base X Ferrogrão	145
Tabela 14: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Ferrogrão	148
Tabela 15: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X FICO	149
Tabela 16: Portos impactados– Cenários Base X Cenário FICO	151
Tabela 17: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FIOL	152
Tabela 18: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FIOL	153
Tabela 19: Portos impactados– Cenários Base X FIOL	154
Tabela 20: Redução do fluxo de carga por trecho– Cenários Base X Rumo Malha Norte	156
Tabela 21: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Rumo Malha Norte	158
Tabela 22: Portos impactados– Cenários Base X RUMO Malha Norte	158
Tabela 23: Portos impactados – Cenários Base X Transnordestina	160
Tabela 24: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte	163
Tabela 25: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e RUMO Malha Norte	164
Tabela 26: Portos impactados – Cenários Base X Ferrogrão e Rumo Malha Norte	166

Tabela 27: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO-FIOL-FNS	165
Tabela 28: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário Nova FICO-FIOL-FNS	169
Tabela 29: Portos impactados– Cenários Base X Nova FICO-FIOL-FNS	170
Tabela 30: Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Projetos estudados	172
Tabela 31: Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Projetos estudados	174
Tabela 32: Portos impactados– Cenários Base X Projetos estudados	175
Tabela 33: Impacto dos projetos no custo de transporte.	178
Tabela 34: Movimentação de carga de GSA nos principais portos.	179
Tabela 35: Tabulação resultante da modelagem de rotas e macrobacias logísticas por autômato celular.	211
Tabela 36: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário socioeconômico.	213
Tabela 37: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário mercadológico.	214
Tabela 38: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário logístico.	217
Tabela 39: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário físico.	219
Tabela 40: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário ambiental.	220

## **LISTA DE SIGLAS**

ANTAQ – Agencia Nacional de Transportes Aquaviários

CAPEX – Capital Expenditure

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil

EGO - Environment for Geoprocessing Objects

EPL - Empresa de Planejamento e Logística S.A.

MOD – Matriz Origem Destino

OD – Origem Destino

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OPEX – Operational Expenditure

PNL – Plano Nacional de Logística

TREM – Transportation Research & Environmental Modeling

## SUMÁRIO

<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	17
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	19
1.1 - Hipóteses e formulação das questões de pesquisa	24
1.2 - Objetivo	25
1.3 - Justificativa e Mérito da Pesquisa	26
1.4 - Recursos materiais e humanos envolvidos	26
1.5 - Publicações	26
1.6 - Organização da Tese	29
<b>2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	31
2.1 Aspectos históricos do planejamento da infraestrutura de transportes brasileira	31
2.2 - Aspectos estratégicos do planejamento da infraestrutura de transportes brasileira	55
2.3 A Polêmica Interface entre Transporte e o Meio Ambiente	60
2.4 - A necessidade de transversalidade no Planejamento de Transportes	62
2.5 - Geoprocessamento no Planejamento de Transportes	66
2.6 - Modelagem e Simulação	70
<b>3 - ESTUDO DE VIABILIDADE EM PROJETOS GREENFIELD</b>	75
3.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo	76
3.2 Modelagem Conceitual	76
3.3 - Modelagem Lógica	78
3.3.1 Aspectos Gerais	78
3.3.2 - Parametrização Cartográfica	81
3.3.3 - Procedimentos Lógicos	83
3.4 - Preparação dos dados e modelagem física	89
<b>4 - ESTUDOS DE ROTAS E MACROBACIAS LOGÍSTICAS</b>	94
4.1 - Modelagem rotas e macrobacias logísticas por autômato celular	94
4.1.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo	95
4.1.2 - Modelagem Conceitual	95
4.1.3 - Modelagem Lógica	97
4.1.4 - Preparação dos dados e Modelagem Física	99
4.1.5 - Resultados Modelo	103
4.2 - Modelagem topológica de rotas e macrobacias logísticas	105
4.2.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo	106
4.2.2 - Modelagem Conceitual	106
4.2.3 - Preparação dos dados e Modelagem Lógica	107
4.2.4 - Modelagem física	112
4.2.5 - Validação do Modelo	118

<b>5 - APLICAÇÕES E RESULTADOS DOS MODELOS</b>	121
5.1 - Estudo de alternativa à proposição das BR-080 e BR-242	121
5.1.1 - Caracterização do problema	122
5.1.2 - Modelagem	125
5.1.3 - Resultados	131
5.1.4 - Conclusão	138
5.2 - Modelagem topológica vetorial de rotas e macrobacias logísticas	139
5.2.1 - Caracterização do problema	139
5.2.2 - Desenho metodológico	140
5.2.3 - Cenário 1: Ferrogrão	141
5.2.4 - Cenário 2: Ferrovia Integração Centro Oeste - FICO	147
5.2.5 - Cenário 3: Ferrovia Integração Oeste Leste – FIOLE	152
5.2.6 - Cenário 4: Ferrovia RUMO Malha Norte	156
5.2.7 - Cenário 5: Ferrovia Transnordestina	160
5.2.8 - Cenário 6: Ferrogrão e Rumo Malha Norte	162
5.2.9 - Cenário 7: Ferrovia Norte Sul, Ferrovia Integração Oeste Leste e Integração Centro Oeste	166
5.2.10 - Cenário 8: Conjunto de Projetos Estudados	171
5.2.11 - Conclusão do estudo	177
<b>6. DISCUSSÃO e CONCLUSÕES</b>	180
<b>7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	183
<b>REFERÊNCIAS</b>	185
<b>APÊNDICE A – Custo de transporte calculado</b>	211
<b>APÊNDICE B – Regras e parametros de variáveis</b>	213
<b>APÊNDICE C – Apresentação gráfica da modelagem</b>	221



## **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

*Esta tese de doutorado não se resume aos quatro anos de trabalho e pesquisa desenvolvidos nesta empreitada, uma vez que a motivação sobre o tema surgiu na Faculdade de Engenharia de Agrimensura - FEAMIG, ainda nos anos 2000, durante a graduação em Engenharia de Agrimensura.*

*Ao longo de mais de trinta e oito anos contribuindo na Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, inicialmente na Pró-Reitoria de Pós-Graduação, pude perceber que concluir a graduação seria apenas o primeiro passo para atingir os diversos objetivos traçados ao longo da vida. Recebi apoio e incentivo de profissionais como Prof. Ivan Moura Campos e Profa. Ana Lúcia Almeida Gazolla, dentre outros.*

*No final da década de 1990, início o contato com a temática de informações geográficas e especialmente explícitas no Instituto de Geociências - IGC, especialmente no Centro de Sensoriamento Remoto – CSR, local que ofertou e continua oferecendo diversas oportunidades ao longo dos anos.*

*Em 2007, com a conclusão do curso de Especialização em Geoprocessamento do IGC-UFMG, gostei do tema de tal forma que, em seguida iniciei o curso de Especialização em Engenharia de Software no Instituto de Ciências Exatas – ICEx da UFMG, em 2009, com o objetivo de aprofundar e entender o mundo dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG.*

*No CSR, integrei a equipe de desenvolvimento da plataforma de modelagem Dinamica, hoje Dinamica EGO, geoprocessamento e modelagem ambiental. Na qual permaneço até os dias de hoje.*

*Em 2012, dei mais um passo, agora com objetivos específicos. Dei início ao Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais na UFMG, sob a orientação do Prof. Ricardo Alexandrino Garcia e co-orientação do Prof. Britaldo Silveira Soares Filho. Naquela pesquisa, foi desenvolvido um estudo sobre a infraestrutura de transporte de carga e a macrologística nacional para exportação de Soja. Utilizando a plataforma Dinamica EGO, foram desenvolvidos modelos capazes de delimitar bacias logísticas*

*dos principais portos exportadores brasileiros, analisando o impacto na redução do custo de transporte, caso a produção fosse deslocada para o porto equivalente. A dissertação foi apresentada e aprovada em 2013.*

*Em 2019, com experiência no desenvolvimento de modelos de uso do solo e transporte, surgiu um novo desafio. Apoiado e orientado pelo Prof. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega na primeira turma de Doutorado em Análises e Modelagem de Sistemas Ambientais, também nesta instituição. Desta vez, o objetivo era aprimorar e aprofundar no desenvolvimento da modelagem de transportes de carga, utilizando banco de dados geográficos associados ao Dinamica EGO. Foi desafiador associar o geoprocessamento, engenharia de software, banco de dados, e a modelagem de transportes.*

*Pretendo que, com este estudo, possa haver destaque ao planejamento com simulação de cenários, fomentando um debate com gestores públicos e privados, sobre a avaliação do comportamento da logística, parte importante no desenvolvimento nacional, além de impactos sinérgicos e cumulativos derivados de novos projetos logísticos na manutenção e preservação ambiental.*

## 1 - INTRODUÇÃO

Dadas as proporções continentais do Brasil, estabelecer a integração socioeconômica e política do território nacional é um desafio vivenciado desde os tempos coloniais, sobretudo no interior do país, onde a vastidão da floresta tropical e as longas distâncias historicamente representam um desafio à ocupação do espaço. Projetos políticos buscaram integrar a região ao restante do país por meio da construção de rodovias. Esse processo abriu as portas para a ocupação rápida e vasta que resultou no extenso desmatamento da floresta original e uma comensurada perda de serviços ecossistêmicos e culturais da Amazônia, tema que ganhou notoriedade e impulsionou pesquisas.

Como resultado da sinergia entre ativismo ambiental e produção científica no país nas últimas décadas, estabeleceu-se um ambiente de troca com o governo, propício à criação de políticas públicas de conservação. Este processo contribuiu para o sucesso brasileiro em reduzir o desmatamento na Amazônia a partir de meados dos anos 2000 (SOARES-FILHO; RAJÃO, 2018). Contudo, a pressão imposta pelo avanço da agricultura extensiva, sobretudo voltada à produção de grãos para atendimento ao mercado externo, contrapõe diretrizes e conquistas conservacionistas, acirrando a queda de braços entre diferentes pastas. Em mapeamento recente TISLER et al. (2022) identificaram as áreas livres de estradas remanescentes no território brasileiro, sobrepondo-as com áreas protegidas para o ano de 2019, o que revelou alarmantes índices de antropização em áreas de cobertura natural e reforçou a necessidade urgente da sinergia entre diferentes pastas do Governo Federal para efetividade nas políticas de conservação ambiental. Como contraponto, é importante ressaltar que as infraestruturas essenciais como as de energia, comunicação, transporte e água, continuam a desempenhar um papel crucial no desenvolvimento da sociedade como vetores para uma economia de baixo carbono que assegure a sustentabilidade ambiental (UGEDA; GONTIJO, 2017). C

A logística de escoamento nas novas fronteiras agrícolas – localizadas nas regiões Centro-Norte e Centro-Oeste – passou por mudanças nos últimos anos na medida em que a expansão agrícola tem crescido na direção norte do estado do Mato Grosso.

Projeções indicam que a pavimentação ou abertura de novas rodovias e ferrovias na Amazônia concomitante com uma redução das regras e exigências para licenciamento ambiental para grandes projetos de infraestrutura, impulsionará uma nova fase de taxas aceleradas de desmatamento que terão fortes impactos socioeconômicos e ambientais muito além da região amazônica (ARAÚJO *et al.*, 2020; COSTA *et al.* 2020; FEARNSIDE e GRAÇA, 2006; LAURANCE *et al.*, 2009; SOARES-FILHO *et al.*, 2006).

No contexto dos gargalos para o escoamento e a exportação da produção agrícola, o sistema logístico está mal posicionado, em especial a malha rodoviária, que responde pela movimentação da maioria das mercadorias no Brasil mesmo a grandes distâncias, e que para piorar, depende de projetos implantados nas décadas de 1960 e 1970 (KARPOWICZ *et al.*, 2018), quando o Estado brasileiro estruturou projetos de integração do território por meio de algumas ações que resultaram na construção de rodovias que foram inteira ou parcialmente concluídas (NOGUEIRA e NETO, 2016). Os últimos investimentos em infraestrutura neste modo foram realizados como resultado do Programa de Aceleração do Crescimento em 2007 e o último estímulo, ainda que no campo de políticas de transporte, foi o Marco Regulatório das Ferrovias Brasileiras em 2021. Como consequência, a rede rodoviária permanece deficiente e conta com uma grande quantidade de quilômetros de estradas não pavimentadas (E.P.L, 2015), contribuindo para deterioração da rede rodoviária e colocando o escoamento da produção agrícola em situação difícil (NOGUEIRA e; NETO, 2016), devido ao elevado custo de transporte.

Embora o executivo federal tenha empenhado esforços em planos estratégicos de construção e revitalização de infraestrutura (E.P.L, 2010; E.P.L, 2018; E.P.L, 2021), na prática, as políticas de transporte e investimentos nem sempre estiveram relacionadas às atividades portuárias e à distribuição de frete (GALVÃO *et al.*, 2017; NUÑEZ e ÖNAL, 2016; KARPOWICZ *et al.*, 2018).

O planejamento de transportes, que em essência está intrinsecamente relacionado ao uso e ocupação do solo e ao planejamento territorial (NOBREGA e STICH, 2012) sofre, no presente, os reflexos da obsolescência de metodologias incompatíveis com a atual demanda. Essa realidade é ainda acentuada quando considerados os

aspectos territoriais direta ou indiretamente relacionados à infraestrutura e operação do sistema de transportes (LEON *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020). As decisões tomadas no planejamento de infraestruturas de transporte muitas vezes são complexas, portanto, não devem depender de perspectivas exclusivas. A interação entre transporte e uso do solo é sempre um processo de mão dupla na qual as infraestruturas de transporte impulsionam mudanças no contexto geográfico como mudanças no uso do solo, na economia como atrativos de atividades industriais e negócios, e mudanças no contexto demográfico, bem como mudanças no contexto geográfico refletem diretamente nas questões de transporte, como alteração na oferta e demandas de viagens, receita, segurança e poluição (NOBREGA *et al.*, 2012).

Do ponto de vista ambiental, o adensamento da rede de transporte terrestre pode desencadear consequências negativas quanto à fragmentação de habitats naturais (GONÇALVES *et al.*, 2022; GUNSON e TEIXEIRA, 2015; SINGLETON e LEHMKUHL, 1999; CLEVINGER *et al.* 2002; FURNEY e BELCHER 2008), desencadear problemas de acessibilidade intraurbana (LESSA e LOBO, 2021; LEE e HOLME, 2015), bem como induzir mudanças socioeconômicas locais abruptas (ISA, 2021 ; UNITED STATES, 2011.; UNITED STATES, 2008). Nobrega e O'Hara (2011) afirmam que todos os fatores que podem influenciar o contexto geográfico de forma positiva ou negativa devem ser considerados em um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para uma proposta de infraestruturas viárias.

Ocorre que a complexidade das decisões envolvidas no atual planejamento de transporte transcende a elevada, porém limitada quantidade de variáveis envolvidas na perspectiva da engenharia, praticada há décadas (NOBREGA *et al.*, 2016). Para atender as exigências, normas e legislações vigentes, o planejamento de corredores de transporte, que por décadas teve como diretriz principal apenas as considerações de engenharia e de logística, hoje se vê na necessidade de abraçar um volume elevado de variáveis e considerações de caráter restritivo de modo a anteceder inconsistências técnicas e impactos negativos da obra (BERBERIAN *et al.*, 2016). As legislações ambientais, sobretudo as relacionadas às políticas públicas a que um projeto dessa natureza é submetido são atualmente mais criteriosas, envolvem uma gama maior de atores e uma arena de discussão mais ampla que no passado, antes

dos surgimentos das agências de proteção ambiental, fenômeno denominado por Stich *et al.*,(2011) como “complexificação do planejamento de transportes”.

Todavia, os aspectos sociais e os impactos causados pelos projetos, historicamente desconhecidos ou ignorados, e que atualmente trazem prerrogativas aos projetos, ainda são marginais no processo de tomada de decisão (ISA, 2021 ; SILVA *et al.*, 2012). Na perspectiva ambiental, tema focal do Programa de Pós-Graduação em que esta tese foi desenvolvida, esta abordagem pode afetar o equilíbrio, impactando de forma direta a fauna e a flora (TISLER *et al.*, 2022; LATUSZYNSKA; STRULAK-WÓJCIKIEWICZ, 2014; SOARES-FILHO *et al.*, 2006). Embora estes estudos supracitados abordem os potenciais impactos da expansão ou melhoria das estradas no desmatamento e nas suas emissões de gases de efeito estufa, juntamente com as perdas da biodiversidade, os impactos sociais são negligenciados no processo de tomada de decisão nos estudos de projetos de transporte (VASCONCELLOS; 2003).

De fato, o planejamento de transportes necessita de aprimoramento e modernização (NÓBREGA; FERRAZ; BERBERIAN; MASUKAWA *et al.*, 2016). Conhecidos os problemas recorrentes no planejamento de transportes, suas causas e seus efeitos, é imprescindível que sejam protocolados processos capazes de iluminar a preparação e Editais Públicos e Termos de Referência para contratação e projetos de infraestrutura. Ações dessa ordem poderiam impedir que erros crassos do planejamento de transporte oriundos da incompatibilidade temporal e legal continuassem a onerar a sociedade, o meio ambiente e o erário. Ademais, as diretrizes federais deixam de definir critérios claros para seleção da prioridade para implantação de potenciais projetos de infraestrutura de transporte (PARANAIBA; CARVALHO, 2021).

Mais do que nunca, a inclusão de informações ambientais, socioeconômicas e culturais em meio às informações tradicionais de engenharia como declividade do terreno e tipo de solo passa a ser de extrema importância. Todavia, essa inclusão eleva a gama de variáveis e de dados a serem analisados. Neste contexto, o problema passa a ser que os métodos tradicionais de estudo, repetidos há décadas, porém utilizando métodos de desenho assistidos por computador, são limitados quanto ao

volume de informação para não inviabilizar a tomada de decisão humana (NOBREGA et al., 2016). Neste contexto, o geoprocessamento é uma peça fundamental para auxiliar o processo de modernização do planejamento de transportes por possibilitar o desenvolvimento de modelos multicriteriais complexos que podem envolver a elevada gama de variáveis e operações requeridas atualmente nos estudos (SADASIVUNI et al., 2009).

Embora o Governo Federal tenha consciência da necessidade de modernização do planejamento de transportes, o Estado ainda não se encontra aparelhado por instrumentos e recursos humanos adequados à necessidade do processo (BERBERIAN et al., 2016). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são amplamente reconhecidos como ferramentas essenciais no planejamento de transportes e na política ambiental, devido à sua capacidade de fornecer uma análise espacial integrada e eficiente de dados georreferenciados. Ignorar as considerações apontadas na literatura sobre a importância do uso adequado dos SIG seria inadmissível, uma vez que isso poderia levar à repetição de erros cometidos no passado. Os gestores precisam estar cientes da necessidade de buscar soluções modernas e integradas para os desafios enfrentados nesses setores, a fim de garantir uma gestão eficaz e sustentável.

Neste sentido, o presente trabalho integra duas vertentes de estudos de modelagem geográfica computacional aplicada ao planejamento de transportes, tendo como premissa o desenvolvimento de inteligência geográfica para suprir demandas explícitas e latentes das pastas ambiental e de transportes, cuja transversalidade é imperativa para que o Brasil possa crescer economicamente de forma sustentável e atenuar impactos ambientais e sociais para o cumprimento dos acordos internacionais do qual é signatário. O primeiro apresenta o contexto das soluções para cálculo de corredores de viabilidade para propostas de infraestruturas lineares e a efetiva implementação do modelo geográfico computacional, possibilitando a automatização do processo. O segundo estudo apresenta o desenvolvimento de modelos geográficos computacionais para calcular as alterações na macrologística nacional de escoamento de cargas agrícolas, o custo do transporte e as alterações na paisagem através da simulação da remoção e inclusão de novos corredores na malha viária brasileira.

Quanto à metodologia da pesquisa, esta tese de doutorado envolve pesquisas de tipo quantitativa ao modelar e analisar numericamente cenários, como também qualitativa ao retratar de forma cronológica o entendimento histórico da construção e transformação das infraestruturas de transporte no Brasil. Quanto ao método, as pesquisas aqui apresentadas são aplicadas. Quanto ao objetivo, a tese reúne uma pesquisa descritiva sobre a cronologia supracitada e duas pesquisas exploratórias de modelagem. Por fim, os procedimentos da pesquisa são documentais e experimentais.

### **1.1 - Hipóteses e formulação das questões de pesquisa**

O presente trabalho parte da premissa de que a modelagem geográfica computacional pode ser adotada com êxito na implementação de soluções interdisciplinares às complexas questões do planejamento de transportes. Assume-se que a existência de dados geográficos confiáveis combinado à existência de regras de decisão possibilita o ambiente necessário ao desenvolvimento dos modelos propostos nesta tese.

Em linhas gerais, a hipótese investigada foi a capacidade da modelagem geográfica computacional em prover simulações de cenários capazes de prever a abrangência dos impactos socioambientais tanto em projetos novos e propostos, denominados “*greenfield*”, como na alteração de projetos existentes “*brownfield*”.

Considerando que a avaliação ex-ante em projetos de infraestrutura de transporte deve considerar o contexto geográfico, transcendendo a tradicional análise de despesas de capital (CAPEX) e despesa operacional (OPEX), o presente trabalho buscou responder às seguintes questões:

- É possível automatizar o processo de análise multicritério em estudo de viabilidade de corredores de transporte?
- É possível calcular o custo de transporte por trecho e não generalizado por modo como recém publicado pelo Ministério da Infraestrutura?
- É possível identificar alterações nas macrobacias logísticas de escoamento de carga a partir da ruptura ou implementação de novos seguimentos na malha viária?



- É possível prever a abrangência geográfica do impacto ambiental induzido pelas infraestruturas de transporte?
- É possível prever alterações no fluxo de carga em segmentos rodoviários dentro ou próximo de áreas protegidas?

## **1.2 - Objetivo**

Em linhas gerais, esta pesquisa visa subsidiar o desenvolvimento de ferramentas computacionais inovadoras para os estudos de viabilidade, simulações e previsões de causas e efeitos de infraestruturas de transporte existentes e planejadas, soluções estas que deverão ser integradas a uma plataforma de modelagem geográfica robusta e consagrada.

Este trabalho tem como objetivo apresentar, desenvolver e demonstrar modelos computacionais de inteligência geográfica voltados à inovação e modernização do planejamento de transporte no que tange aos aspectos territoriais e as perspectivas social, econômica e ambiental.

Os objetivos específicos são:

- desenvolver um modelo computacional para cálculo de corredores de viabilidade e cenários alternativos para proposição de infraestruturas lineares de transporte;
- desenvolver um modelo computacional preditivo e espacialmente explícito capaz de analisar a dinâmica da macrologística nacional através da simulação da inclusão de novos corredores de transporte na malha viária brasileira;
- simular e analisar a dinâmica do transporte nos trechos impactados pelos novos empreendimentos;
- utilizar a modelagem geográfica para analisar casos onde a ausência de uma perspectiva holística transdisciplinar no planejamento de transportes pode estar colocando em risco áreas protegidas e áreas ambientalmente sensíveis.

### **1.3 - Justificativa e Mérito da Pesquisa**

A pesquisa foi proposta para fomentar o preenchimento de lacunas na literatura no tocante a concepção e popularização da modelagem geográfica como ferramenta acessível para promoção do debate, da inclusão, da transparência e da transversalidade em estudos de infraestrutura de transporte. A pesquisa está pautada no entendimento de que a aliança entre ciência e política pode permitir o estabelecimento de linhas norteadoras para um futuro no qual o crescimento econômico e a conservação ambiental caminhem juntos para a construção de uma sociedade justa, igualitária que valorize nossa grande sociobiodiversidade. Baseado nessa premissa, este trabalho apresenta uma investigação científica em prol do fomento à solução de problemas reais conhecidos e latentes ainda não identificados pelas autoridades de transporte e autoridades ambientais.

O trabalho mostra-se aderente às linhas de pesquisa (a) Modelagem de Sistemas e (b) Gestão da Paisagem do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, e seu escopo foi desenvolvido em consonância com a linha de pesquisa norteadora da bolsa de produtividade do orientador junto ao CNPq, sendo parte vital das pesquisas “Inteligência Geográfica para o Planejamento e a Gestão de Infraestruturas de Transportes Processo” - CNPq: 315631/2021-0 e “Inteligência geográfica e modelagem participativa no planejamento de transporte sensível ao contexto” - CNPq: 312433/2018-2.

### **1.4 – Inserção Social da Pesquisa**

A inserção social da pesquisa é reflexo da relevância do tema e da abordagem dos impactos socioambientais nas simulações computacionais que estão sendo processadas. Embora em desenvolvimento, os resultados preliminares já despertam a atenção de órgãos gestores e veículos de informação. A pesquisa traz luz à necessidade de modernização e transversalidade no planejamento de transportes, cujo tema é de declarado interesse da Secretaria de Infraestrutura de Portos e Ferrovias do Tribunal de Contas da União, da Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA, Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais e iniciativa privada.

No tocante aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas, a pesquisa permeia o ODS #9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura, ODS #13 – Ação Contra Mudança Global do Clima e ODS #15 – Vida Terrestre e ODS #17 – Parcerias e Meios de Implementação.

O ODS #9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura - está relacionado à necessidade de promover o desenvolvimento de infraestrutura sustentável e resiliente, além de incentivar a inovação e a industrialização de maneira responsável, contribuindo para a melhoria e eficiência produtiva, redução do impacto ambiental e aumento da competitividade global, garantindo um crescimento econômico justo e sustentável. Os países em desenvolvimento são particularmente afetados pela falta de infraestrutura adequada, o que impede o desenvolvimento socioeconômico.

O ODS #13 – Ação Contra Mudança Global do Clima - busca implementar medidas para combater a mudança climática, em consonância com o Acordo de Paris, visando à redução da emissão de gases de efeito estufa e a criação de ações resilientes às mudanças climáticas. A mudança global do clima é uma das maiores ameaças enfrentadas pelo planeta atualmente, tendo como principais causas as emissões de gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas, tais como a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e práticas agrícolas intensivas. É fundamental que haja um esforço global de cooperação para promover ações coordenadas e eficazes de combate às mudanças climáticas.

O ODS #15 – Vida Terrestre - busca proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, além de fomentar a diversidade biológica e preservar as áreas naturais e os serviços ecossistêmicos. É necessário promover a conservação dos ecossistemas terrestres, restaurar áreas degradadas e promover o uso sustentável dos recursos naturais. Isso inclui a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, a gestão adequada das florestas, a proteção das áreas de conservação, bem como a promoção da conscientização e da educação ambiental.

Por fim, o ODS #17 – Parcerias e Meios de Implementação - enfatiza a importância da cooperação entre diferentes setores da sociedade para atingir os demais ODS,

além de abordar a necessidade de recursos financeiros, tecnológicos e humanos para o alcance dos objetivos estabelecidos.

### **1.5 - Recursos materiais e humanos envolvidos**

A pesquisa de doutorado contou com a infraestrutura, o aporte computacional e financeiro do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR), e com o aporte e a integração de recursos humanos do Transportation Research and Environmental Modeling (TREM), ambos no Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os processamentos e as análises foram desenvolvidos em equipamentos com as seguintes características:

- Workstation HP Z1 com processador Xeon Quad-Core 3.2GHz, 32GB de memória RAM e 2TB de memória de armazenamento;
- Workstation com processador AMD A8-3850 Quad-Core 3,3GHz, 32GB de memória RAM e 4TB de memória de armazenamento;
- Workstation como processador Intel Core I9 16-Core 3.50 GHz, 64 GB de memória RAM, adaptador de vídeo NVidia GeForce GTX1660 Super e 3 TB de memória de armazenamento padrão NVM – SSD.
- Notebook MacBook Pro 2019 com processador Intel Core I7 Quad-Core, 16 GB de memória RAM e 1 TB de memória de armazenamento SSD.

A pesquisa empregou os seguintes programas computacionais:

- Dinamica EGO 7.2.0 – Plataforma de modelagem gratuita e não comercial, desenvolvida no Centro de Sensoriamento Remoto - CSR, utilizado para a modelagem geográfica computacional;
- PostgreSQL 14 – Banco de Dados relacional e de código aberto, para estruturação do banco de dados geográfico;
- QGIS 3.28, para visualização e preparação dos dados e dos mapas finais;
- Python, para implementação de rotinas computacionais adicionadas aos programas supracitados;
- Microsoft Excel 2019, para preparação e tabulação dos dados;
- Microsoft Word 2019, para elaboração de relatórios e documentação da Tese;

- Microsoft Teams e Google Meet, para reuniões de orientação.

A presente tese inclui pesquisas desenvolvidas no TREM e no CSR no âmbito da polêmica interface entre Planejamento de Transportes e Meio Ambiente, onde o candidato desempenhou papel fundamental na consolidação da modelagem geográfica computacional. O documento incorpora, em uma perspectiva integrada, os esforços de modelagem geográfica desenvolvidos pelo doutorando no apoio às seguintes pesquisas de mestrado:

- “*Modelo estratégico geográficamente explícito del corredor de viabilidad ambiental, social y económico de la Ferrovía Bioceánica en territorio peruano y brasileño*”, de Miluska Blas Leon pelo Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG, defendida em 2020;
- “Modelagem geográfica para a simulação de custos de transporte de soja em bacias logísticas”, de Bruno Tavares Medeiros pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes da Escola de Engenharia da UFMG em 2021.

A pesquisa teve também como base o projeto OTIMIZAGRO-Infra: uma plataforma de avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos de projetos de infraestrutura, SIEX/UFMG n. 403700, coordenado pelo Prof. Britaldo Silveira Soares-Filho do CSR/UFMG.

## **1.6 - Organização da Tese**

Em adição ao capítulo introdutório, a tese inclui no Capítulo 2 uma revisão de literatura sobre três temas chave da pesquisa: o planejamento de transportes na luz dos aspectos históricos e as deficiências do processo, a macro infraestrutura de transportes no Brasil e o status da inteligência geográfica para o fim.

O capítulo 3 apresenta a conceitualização e o desenvolvimento de um modelo geográfico para corredores de menor esforço voltado a apoiar estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) de novas infraestruturas propostas e planejadas, denominados *greenfield*.

O capítulo 4 apresenta a conceitualização e o desenvolvimento de modelos geográficos computacionais voltados a operação, simulação de impedâncias, novos segmentos e novas rotas para análise de custo de transporte de commodities agrícolas e definição de macrobacias logísticas.

O capítulo 5 apresenta os resultados da aplicação dos modelos desenvolvidos nos capítulos 3 e 4 em três estudos de caso com demandas reais e urgentes para fomentar debates sobre o eminente impacto de rodovias propostas em áreas protegidas e socio ambientalmente vulneráveis, caso das BR-080 / BR-242 na região de recarga do Xingú, e do futuro terminal de transbordo em Matupá-PA na EF-170. O terceiro estudo contempla a modelagem utilizando dados vetoriais com estrutura de rede e a inclusão de banco de dados geográficos. Os estudos de caso visam demonstrar formas alternativas de prevenção ou redução de impactos previsíveis, oferecendo modernização e transdisciplinaridade ao planejamento de transportes, até então limitado em sua perspectiva tradicional. É importante ressaltar que o objetivo central da tese é promover a modelagem geográfica como instrumento de integração transversal à modernização do processo de planejamento de transportes e não o de especificamente debater os resultados de sua aplicação.

O capítulo 6 integra as discussões e as conclusões da tese. Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as ideias propostas para a continuidade das pesquisas em modelagem geográfica no planejamento de transportes, bem como desenvolvimentos futuros. A documentação detalhada dos códigos e informações suplementares encontra-se nos anexos.

## **2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo visa subsidiar o leitor com informações fundamentais acerca dos três principais temas que embasam esta pesquisa. A fundamentação apresenta uma síntese de literaturas específicas em cada um destes temas, bem como fundamentações de debates e a cronologia das soluções propostas ou desenvolvidas por especialistas para o aprimoramento do planejamento de transportes. É importante ressaltar que esta fundamentação teórica não abrange uma revisão de literatura em logística de cargas, pessoas ou serviços, e que tem como principal foco os escopos territorial e ambiental.

### **2.1 Aspectos históricos do planejamento da infraestrutura de transportes brasileira**

Historicamente, o Brasil tem sido um dos mais importantes produtores mundiais de *commodities* agrícolas, pecuárias e minerais desde o século XVIII (PEREIRA et al. 2012, CABRAL, 2021). Assim, os portos marítimos e fluviais foram não só estratégicos para o estabelecimento econômico do país, como também foram o principal vetor da colonização e desenvolvimento das grandes cidades. No final do século XIX, alguns portos marítimos passaram a ser servidos por ferrovias devido ao aumento do volume de *commodities* agrícolas (HONORATO e RIBEIRO, 2021). Em relação à infraestrutura portuária e às embarcações que operam, os portos foram construídos com base em requisitos simples como a segurança de águas calmas estrategicamente localizadas em regiões estuarinas e baías (SOUSA et al., 2021).

O modo de transporte utilizado para a ligação entre as capitânicas, em longas e perigosas viagens, com um leque variado de embarcações (FERREIRA JUNIOR, 2016). A ausência de infraestrutura terrestre carroçável no interior do país dificultava o processo de colonização de forma massiva em regiões mais distantes da costa. Com isso, as capitânicas se desenvolveram a partir de portos marítimos, mesmo assim, sem grandes investimentos da coroa, a qual se preocupava em obras de fortificação contra invasores (DNIT, 2019). O transporte de cargas e pessoas em grandes volumes no final do século XIX e início do século XX era ainda pontual, e majoritariamente realizado por meio dos então poucos ramais ferroviários construídos a partir de 1852,

e que se originavam nestes portos (COIMBRA, 1974). De acordo com o Diário da Manhã (1988), o primeiro plano de integração hidrovia-ferrovia e que nunca saiu do papel data de 1874, desenvolvido pelo engenheiro André Rebouças, aspirava a implantação de um sistema ferroviário que ligasse o Brasil de Norte a Sul e de Leste a Oeste, baseado no sistema quadriculado inspirado no plano ferroviário norte americano (CASTRO et al. 2018).

A partir da proclamação da república iniciaram os primeiros movimentos de planejamento da infraestrutura de transporte que visavam integrar ferrovias e navegação fluvial para interiorização do país. Neste período ocorreu o progressivo surgimento de estradas de ferro de forma independente e em diferentes frentes no início do século XX (RS, PE, PB, BA, MG, SP) destinadas ao transporte de cargas e passageiros (ESPIG, 2012, CAMELO FILHO, 2000, MATOS, 1974) (Figura 1).



**Figura 1:** Plano de Viação Federal, apresentado pela Comissão de 1890. Fonte: Coimbra (1974).







Em 1937, fatos como fortalecimento da política de infraestrutura rodoviária, somado ao aumento da frota de veículos e necessidade de gestão e manutenção das rodovias impulsionaram a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). No mesmo ano o órgão apresentou seu plano rodoviário, o qual é considerado um marco temporal no declínio da infraestrutura ferroviária nacional. O DNER estabeleceu conceitos básicos de classificação técnica das estradas, atribuindo escalões governamentais intervenientes na construção e manutenção da infraestrutura (SEMAN, 2010). Dentre as diretrizes do plano, destacavam-se:

- a preferência pela não sobreposição das rodovias com as principais ferrovias;
- o aproveitamento de estradas existentes, incluindo as estradas das administrações estaduais;
- o estabelecimento das ligações da rede rodoviária nacional com infraestrutura aérea no interior do país;

Em 1941 foi criado o Departamento Nacional de Estradas de Ferro (PAULA, 2014), com a função de propor normas e legislação apropriada para o funcionamento da atividade ferroviária, fiscalizar e superintender empresas a cargo da união, dentre outras. O alto estímulo do setor de transporte para o modo rodoviário dificultou a promoção de recursos destinados ao modo ferroviário, e a manutenção do trilho como meio de viagem de pessoas já começava a sofrer impacto (PAULA, 2008). Iniciou-se então um processo que décadas adiante, o que culminaria no domínio do setor ferroviário para o transporte de cargas, sobretudo de origem na prospecção mineral.

No decorrer da década de 1940, a evolução da malha rodoviária brasileira foi fundamentada pelo Plano Rodoviário Nacional do DNER, que previa 27 diretrizes principais distribuídas em seis rodovias longitudinais, 15 transversais e seis ligações, totalizando, na época, 35.574 km, os quais receberam o símbolo BR. Como resultado, ainda no final dessa década foi concluída a construção de interligações nacionais como Curitiba - Lajes, Rio – Bahia e Anápolis - Corumbá, e importantes ligações regionais como Porto Alegre - São Leopoldo, Salvador - Feira de Santana, Itaipava - Teresópolis, Rio de Janeiro - Petrópolis e Petrolina -Juazeiro.

Diante dessa realidade, o então Plano Geral de Viação Nacional foi novamente revisado durante o governo do Presidente Eurico Gaspar Dutra e convertido no Plano Nacional de Viação (PNV) em 1951 na gestão do Presidente Vargas (FERREIRA JUNIOR, 2016). Embora o PNV não tenha sido aprovado em sua versão original, o plano de metas do então governo de Juscelino Kubitschek o desmembrou aprovando, a título provisório, como Plano Rodoviário Nacional e Plano Ferroviário Nacional (BRASIL, 1956).

O PNV apresentava os sistemas ferroviário, rodoviário, fluvial, marítimo e aeroviário (FERREIRA JUNIOR, 2016), contudo é importante ressaltar que uma das premissas desse plano era promover o crescimento econômico moldado na então recente industrialização do país, fenômeno que tinha como carro-chefe a indústria automotiva (PAULA, 2014 ; FERRARI, 1981). Cabe também ressaltar, que a política de atenção ao modo rodoviário favoreceu o interesse do setor minerário pela “apropriação” da infraestrutura ferroviária existente (TENÓRIO, 1996). Também no governo do Presidente Juscelino Kubitschek ocorreu a construção da atual capital federal, estrategicamente posicionada no centro do país como o elo de convergência rodoviário, similar ao proposto no Plano Schnoor em 1927, o que serviria como vetor para o desenvolvimento efetivo da malha rodoviária e da interiorização (SMITH, 2013).

Em 1964 o Governo Federal sob administração militar instituiu a formação de um novo PNV, este com prerrogativas de prioridade para a integração do transporte terrestre do país a partir de Brasília, bem como prerrogativa de garantia do escoamento da produção. Em 1965 foi endereçado ao recém criado Grupo executivo para a Integração de Políticas de Transportes (GEIPOT). Em 1969, Jarbas Passarinho, indicado para assumir o cargo de Ministro da Educação e Cultura, sugere ao então Presidente Médici que a política de segurança nacional deveria lançar-se ao objetivo prioritário de integrar a Amazonia no todo nacional, o mais depressa possível. O que, à primeira vista aparentou ser inocente e em prol da sociedade, na prática se revelou como a ponta de lança para a política de ocupação do cerrado e frentes de interiorização na Amazônia sobretudo com a construção da BR-230, conhecida como Rodovia Transamazônica, com 4.260 km, criada em uma época em que era chamado o ano do “milagre brasileiro” com o objetivo de conectar o Nordeste ao Norte do país

passando por 7 Estados, 63 cidades e cruzando 3 diferentes ecossistemas do Brasil (PINHEIRO, 2022). O projeto inicial era ligar o Atlântico ao Pacífico com 8 mil quilômetros, atravessando toda a América do Sul. Mas o projeto foi modificado para um modelo que chegaria até a fronteira do Brasil com o Peru, o que também não aconteceu. Ligando os municípios de Lábrea-AM até Cabedelo-PB (Figura 4), a rodovia Transamazônica foi destaque no Programa de Integração Nacional (PIN) na perspectiva política da época

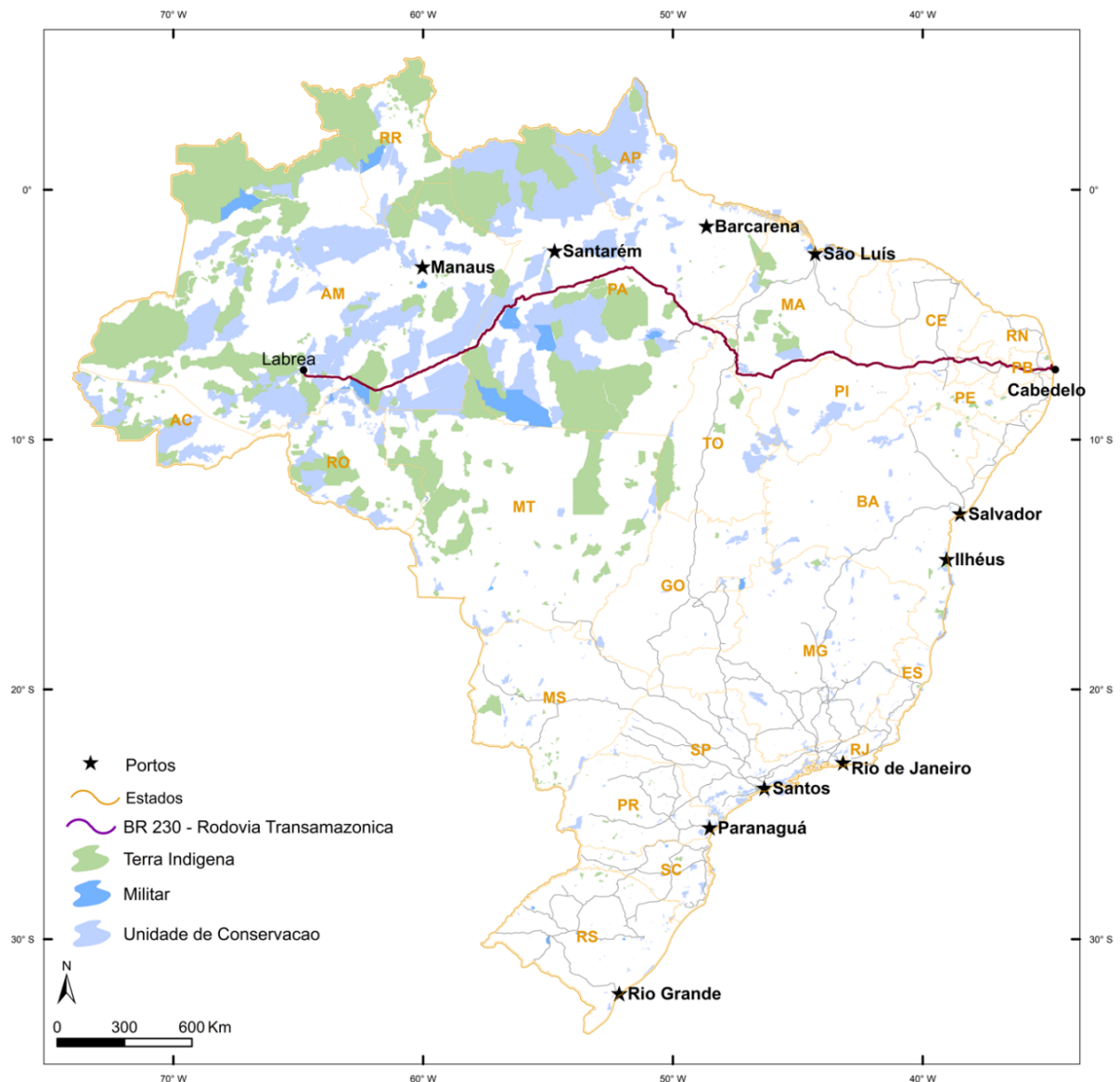


Figura 4: BR-230 - Rodovia Transamazônica



Em tese, os objetivos principais que mobilizaram a construção da rodovia foram a redenção econômica com o Nordeste, em união com os problemas sociais causados pelas secas sazonais no sertão nordestino, e o início da integração da Amazônia (SOUZA, 2017). Segundo propagandas da época, a interligação do Nordeste ao Norte, em especial as cidades isoladas, resolveria problemas sociais, transferindo pessoas do Nordeste para a região amazônica (MORAN, 2019; MENEZES, 2007). O trecho abaixo demonstra o tom utilizado das informações e a Figura 5 ilustra as propagandas que veiculavam na mídia na época.

“O solo do nordeste mostra sinais de evidente dificuldade para sustentação de uma população muito densa. O presidente Médici optou pela construção ligando o Nordeste altamente povoado ao Norte despovoado. As margens da estrada, numa extensão de 100 km, ficaram reservados para empresas agrícolas, médicas e pequenas. Será a adoção de uma política de vasos comunicantes, do ponto de vista demográfico, transferindo o excedente populacional do Nordeste para as terras férteis do sul do Pará e Amazonas (PASSARINHO, 1972)”.



**Figura 5:** Exemplos de propaganda da abertura de estradas e oportunidades de negócios em prol da política de ocupação de terras promovida pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia, típicas da década de 1970. Fonte: Nobrega (2020).

Não houveram estudos sobre viabilidade econômica ou ambiental do empreendimento, sobretudo sobre o impacto sobre os povos tradicionais, promovendo a ocupação e colonização da região amazônica (ABA, 2021). A construção de vias e rodovias é apontada atualmente como uma das grandes causas do desmatamento, além de facilitar o transporte de madeira ilegal, grilagem e garimpagem (WALKER et al. 2011). Atualmente o cenário no qual a BR-230 se insere é alvo de atenção (CARRILHO et al., 2022). Pauta recorrente em noticiários, publicações, reportagens especiais, entrevistas e depoimentos no Brasil e no mundo, a Amazonia encontra-se em xeque frente ao cenário político-econômico-ambiental adotado pelo governo do ex-presidente Jair Bolsonaro (DAVIS et al., 2020). O resultado é o aumento de garimpos ilegais, queimadas predatórias, desmatamento para exploração madeireira e a diminuição da proteção de reservas ambientais e indígenas, além de redução de medidas mitigadoras de preservação do meio ambiente (CAETANO, 2021, RAISG, 2021).

Em 16 de junho de 1970, foi publicado o Decreto-Lei nº 1106 que criou o Programa de Integração Nacional (PIN) que tinha como objetivo promover a maior integração à economia nacional. O novo PNV foi aprovado em 1973, e segundo Brasil (1973) teve como missão:

- Prover a ligação de Brasília às capitais dos estados e a pontos importantes na orla oceânica e fronteira terrestre;
- Prover a ligação das capitais dos estados e pontos importantes na orla oceânica e fronteira;
- Prover acesso a instalações militares;
- Prover ligação entre rodovias federais, terminais portuários e aeródromos;
- Prover acesso a estâncias hidrominerais a cidades tombadas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e pontos de atração turística notoriamente conhecidos e explorados.

Cabe ressaltar o grau inovador dos dois últimos itens supracitados no PNV de 1973, tanto pelo aporte estratégico à multimodalidade, como o aporte a políticas de expansão da malha a territórios com ambientes preservados e abundantes recursos

naturais. Contudo, diante desse cenário e com o início do governo do presidente Ernesto Geisel (1974-1979), a construção da rodovia BR-230 não avançou, sendo interrompida em 1974, com pouco mais da metade do projeto original implementado.

Em meados de 1978, os Programas Integrados de Colonização (PIC) foram suspensos. Assim, com a posterior interrupção das políticas federais de colonização, as famílias assentadas ao longo da rodovia não ultrapassaram oito mil. A migração foi, drasticamente, inferior à expectativa e os índices de desenvolvimento às margens da Transamazônica estão, atualmente, entre os menores do Brasil.

“Sua trajetória histórica – passado, presente e futuro – se consolida num ponto único: a rodovia Transamazônica é aquilo que nunca foi, a rodovia é aquilo que o cotidiano permite ser, a rodovia é aquilo que nela se projeta, que dela se espera. Aos cinquenta anos, ela não foi finalizada, encontra-se inacabada” (TREVISAN et al., 2021).

Referente à malha ferroviária, o primeiro grande projeto proposto após o PNV foi a EF-151, denominada Ferrovia Norte Sul (FNS), cuja proposição surgiu em 1985 no governo do até então presidente José Sarney. A FNS foi projetada para ser a principal ferrovia do país e, como o nome diz, deveria operar como uma ferrovia estruturante interligando dos estados do norte e do sul, como uma espécie de espinha dorsal para o escoamento rápido e barato de carga no interior do Brasil. Contudo, a FNS ainda não está completamente implantada. Sua implantação continua em andamento desde sua concepção em meados de 1980 (ANTT, 2020). O objetivo principal da FNS é desenvolver, pela parceria público-privada, um eixo de transporte competitivo entre as regiões norte e sul do país que represente uma alternativa mais econômica para o transporte de cargas a longa distância (VALEC, 2002).

Em suas primeiras previsões, a estimativa era de que a ferrovia comportasse cerca de 1550 km de extensão, sendo que seu trajeto englobaria diversas cidades e estados, tendo como ponto de partida a cidade de Açailândia (MA) e chegada em Anápolis (GO). Desde o início do projeto, diversas revisões e novas projeções foram traçadas, mas a decisão da construção da FNS sempre foi mantida, mesmo com as mudanças políticas constantes do país. A conclusão das primeiras obras foi efetuada apenas



nove anos depois, em 1996, quando a ferrovia passou a efetuar suas primeiras operações limitadas a um pequeno trecho entre Açailândia-MA e Porto Nacional-TO (CASTRO et al. 2018), trecho denominado Tramo Norte.

A FNS foi leiloadada no dia 28 de março de 2019, sendo arrematada pela Rumo Logística, que venceu o leilão de concessão, superando sua única concorrente, a Valor da Logística Integrada (VLI), empresa de logística que tem como principal sócia a Vale (ANTT, 2019), e concessionária que opera o trecho no tramo norte. Atualmente, a construção da FNS está dividida em sete trechos, são eles: Barcarena-PA – Açailândia-MA; Açailândia-MA – Palmas-TO; Palmas-TO – Anápolis-GO; Ouro Verde-GO – Estrela d'Oeste-SP; Estrela d'Oeste – Panorama-SP; Panorama-SP – Chapecó-SC; Chapecó -SC – Rio Grande-RS (Figura 6).

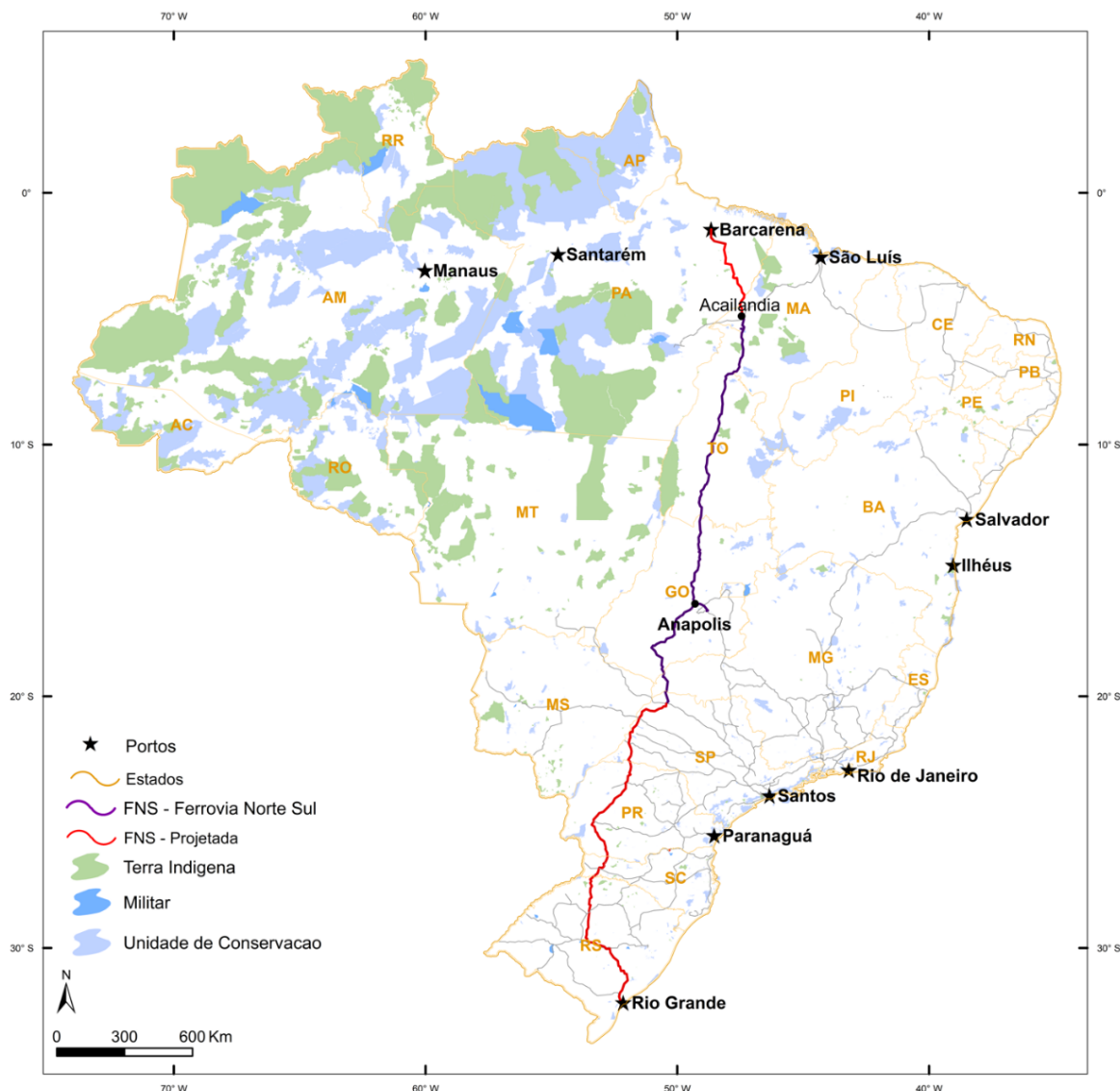


Figura 6: Ferrovia Norte Sul - EF-151.

O primeiro trecho foi concluído em 2010, já o segundo foi entregue em 2012 e se encontra em operação comercial pela subconcessionária Ferrovia Norte Sul S.A., criada pela Vale S.A. O trecho entre os municípios de Palmas-TO e Anápolis-GO tem 855 km de extensão, foi construído e entregue no dia 22 de maio de 2014. Com a inauguração do trecho, a FNS se constitui como a ferrovia estruturadora do sistema ferroviário nacional, facilitando o acesso a vários portos e corredores de exportação. Os demais trechos da ferrovia ainda se encontram em fase de construção ou contratação (VALEC, 2016). Observa-se que, a FNS tem papel importante na viabilização de outros projetos ferroviários tratados à frente, como a EF-354 Ferrovia

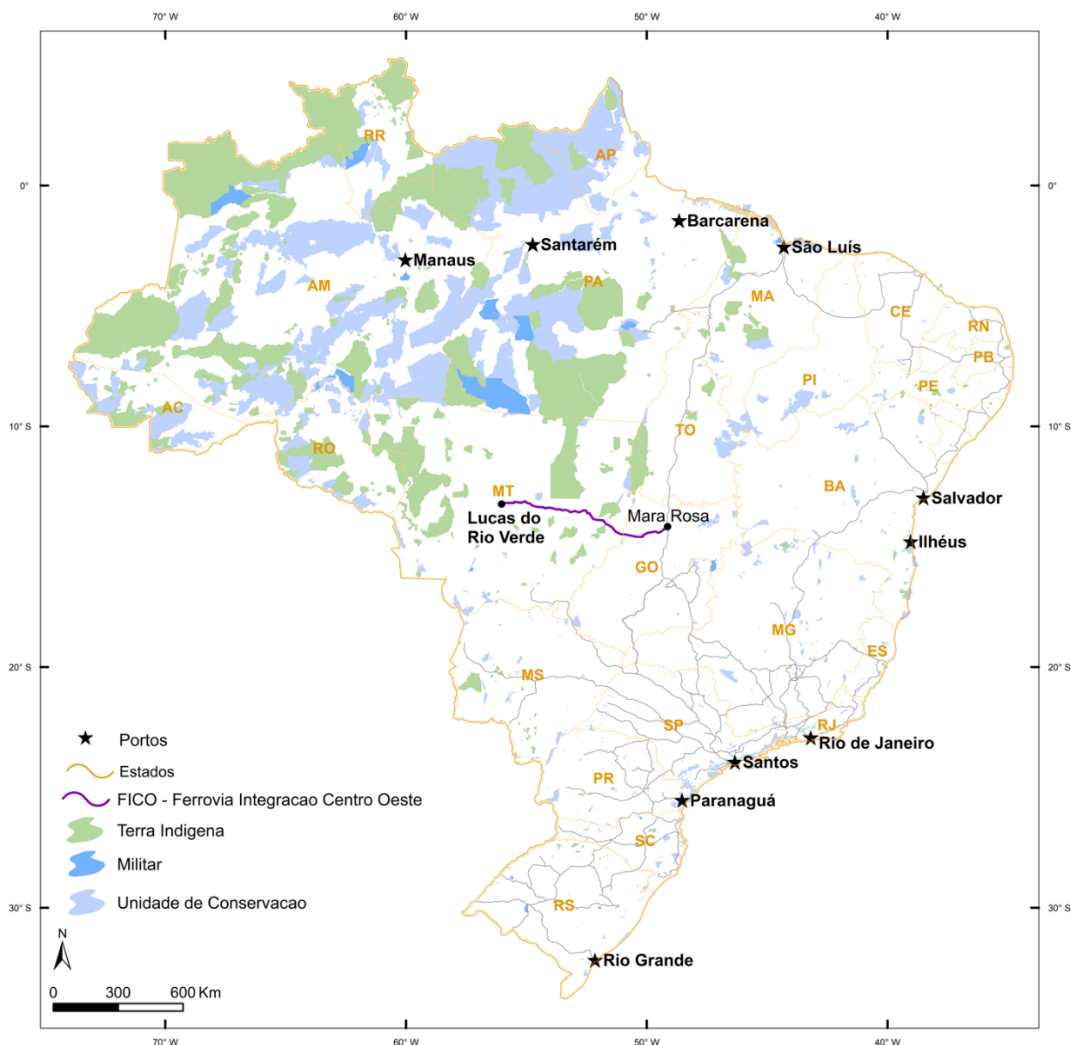
da Integração Centro Oeste (FICO), EF-334 Ferrovia da Integração Oeste Leste (FIOL), estas voltadas majoritariamente ao transporte de grãos agrícolas e de insumos para a agricultura, e EF-232 Ferrovia Transnordestina, voltada ao transporte diversificado de cargas, incluindo produtos agrícolas e minerais.

DNER foi extinto em 2001, e suas atribuições passaram a fazer parte do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sob a responsabilidade de ações integradoras nos modos terrestre e aquaviários no território nacional, mais especificamente vias navegáveis; ferrovias e rodovias federais; instalações e vias e infraestruturas de transbordo de carga e de interface intermodal; instalações portuárias fluviais e lacustres (REF). Essa integralização da gestão de infraestruturas de diferentes modos de transporte alavancou a responsabilidade das autoridades de transporte na proposição de um plano nacional moderno e condizente com a realidade presente e perspectivas futuras.

Em 2006, o Governo Federal brasileiro iniciou o desenvolvimento do Plano Nacional de Transporte e Logística (PNLT), lançado em 2010 como um pacote multibilionário para impulsionar projetos de infraestrutura de transporte, incluindo a construção de milhares de quilômetros de ferrovias de alta capacidade, rodovias interestaduais, portos e instalações intermodais (QUADROS e NASSI, 2015). O plano federal desencadeou sucessivos debates e disputas políticas e, em 2012, foi reformulado como Plano de Logística Integrada (PIL). Em essência, o plano teve como premissa prover investimento em infraestrutura de transporte e macrologística para corrigir a defasagem do país frente a demanda pelo transporte de cargas (MEDEIROS, 2021 ; SAMPAIO e DAYCHOUM, 2017). A proposição de ferrovias estruturantes e alimentadoras esteve dentre as principais pautas e ações do plano, com destaque a EF-354, EF-334, EF-232 e EF-116.

A EF-354 Ferrovia de Integração do Centro-Oeste (FICO) surgiu como proposta para escoar a produção de grãos (soja e milho) do centro norte do estado de Mato Grosso, maior região produtora de soja do Brasil (o correspondente a 10% da produção mundial desse grão), em direção aos principais portos do país a partir da conexão à ferrovia estruturante FNS, ou extensão a leste até atingir a costa Atlântica (VIEIRA,

2016). O projeto tem 888 km de extensão, sendo 383 km entre Mara Rosa-GO e Água Boa-MT e 505 km entre Água Boa-MT e Lucas do Rio Verde-MT (Figura 7).



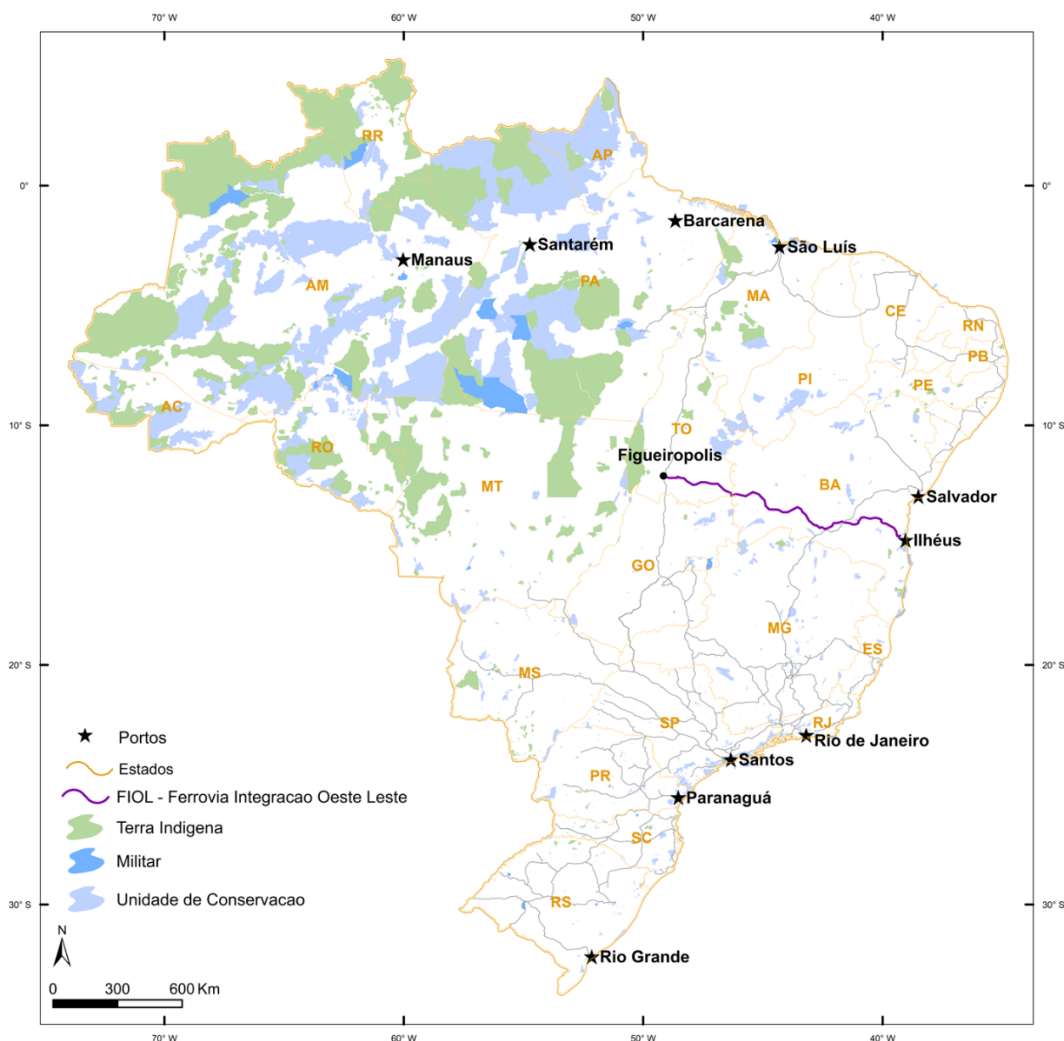
**Figura 7:** Ferrovia Integração Centro Oeste – EF-354

No contexto dos gargalos logísticos para o escoamento e exportação da produção agrícola, o projeto de implantação da ferrovia EF-170 (Ferrogrão) bem como da EF-354 (FICO), têm o potencial de reduzir significativamente os custos de frete, o que na prática implicaria no aumento da competitividade dos produtos agrícolas brasileiros no mercado internacional. A ferrovia foi idealizada para prover a ligação entre Vilhena - RO e a FNS em Mara Rosa-GO. Além do potencial escoamento de *commodities* agrícolas do centro oeste brasileiro em direção aos portos da costa brasileira, sobretudo os portos de Santos e Paranaguá, a FICO pode também conectar a malha

ferroviária brasileira à futura ferrovia Bioceânica (ou Transoceânica) que deverá se estender até a costa do pacífico (ainda em estudo).

Contudo, o Relatório de Auditoria o Tribunal de Contas da União apontou um projeto deficiente e metodologia inadequada para definição de orçamento. Dessa forma, o projeto sofreu diversas alterações permitindo aperfeiçoamentos em diversos elementos que resultou em redução de orçamento. A construção da FICO se tornou a principal contrapartida do processo de renovação antecipada da Estrada de Ferro Vitória-Minas – EFVM (TCU, 2020). Nota-se, portanto, que a viabilidade do sistema de transporte pela FICO consiste não apenas no aumento da produção de grãos no Centro-Oeste, como em um mecanismo para encurtar a grande distância e para reduzir o alto custo do frete que essa região apresenta.

O projeto de conectar a costa atlântica baiana ao oeste por estrada de ferro não é um projeto recente. Já na década de 1950 existia a ideia de interligar a nova capital Brasília ao Oceano Atlântico (OLIVEIRA, 2011). Apoiado neste contexto surgiu em 2008 durante o governo Jacques Wagner (2006-2010) do Estado da Bahia, o renascimento da proposta da Ferrovia de Integração Oeste-Leste - FIOL (EF-334), com extensão de 1.527 quilômetros para interligar Ilhéus-BA a Figueirópolis-TO (Figura 8). O principal objetivo da FIOL é transportar cargas de minério ferro, grãos e farelo de soja para o Porto Sul (Ilhéus-BA), em fase final de licenciamento, de onde seguem para o mercado internacional (PEDREIJA JUNIOR, NASCIMENTO, 2015).



**Figura 8:** Ferrovia Integração Oeste Leste – EF-334.

Conceitualmente, a FIOLE apresenta externalidades positivas ao ser apontada como uma das principais soluções para o problema de integração física e escoamento da produção do Estado (SOUZA et al. 2013). Trata-se de um projeto misto, em partes *brownfield*<sup>1</sup>, ou seja, é um empreendimento realizado para se somar a infraestrutura presente, todavia com diversos trechos *greenfield* onde o projeto demanda intensos estudos de viabilidade, incluindo aspectos socioambientais, para obter a licença de construção. O empreendimento está dividido em três trechos:

<sup>1</sup> Referido a melhoria e expansão de empreendimentos já existentes (MAHMOOD, 2020).

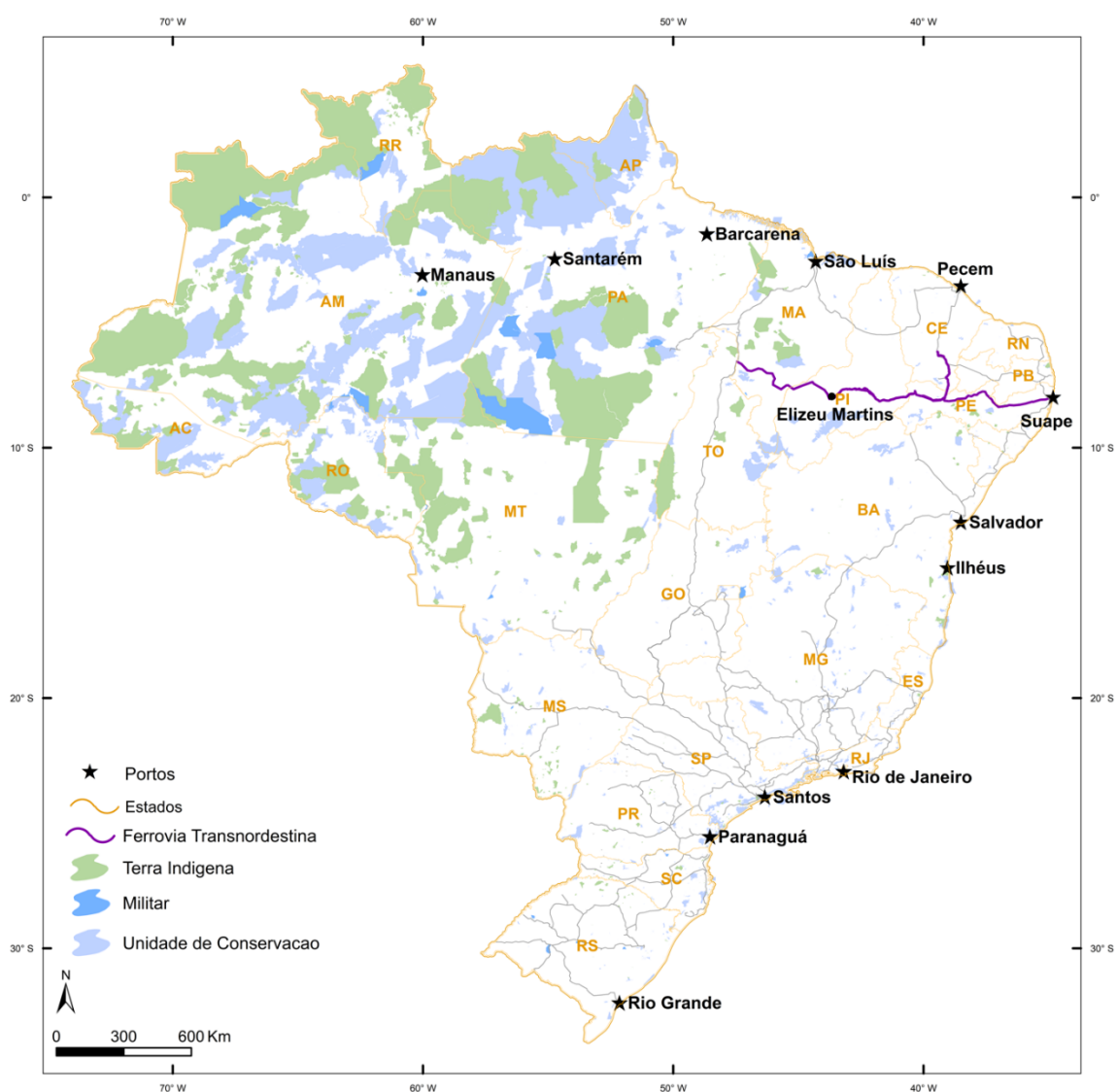
- Trecho I: Ilhéus/BA – Caetité/BA, com extensão de 537 km, dos quais mais de 73,6% de execução física da obra. Este é o trecho que foi qualificado para subconcessão.
- Trecho II: Caetité/BA – Barreiras/BA, com extensão de 485 km, dos quais cerca de 36% das obras estão executadas .
- Trecho III: Barreiras/BA – Figueirópolis/TO, com extensão aproximada de 505 km, em fase de estudos e projetos.

Projeções realizadas pelo Ministério dos Transportes apontam que após os primeiros 5 anos de operação, ao considerar o número de cruzamentos de trens em sentido inverso a serem realizados através de desvios em alguns pontos, a capacidade de transporte estará comprometida devido ao fato do projeto originalmente proposto operar com trilhos e material rodante de bitola métrica (BRASIL, 2010).

O Nordeste brasileiro, que tradicionalmente contou com trilhos para interiorização e transporte de cargas como cana de açúcar e algodão na primeira metade de século XX (CAMELO FILHO, 2000), sentiu o grave impacto econômico da desativação ou decadência do uso desse modo de transporte. Em 1997, a malha ferroviária brasileira já se encontrava em condições precárias e com carência de investimentos, dando início o seu processo de privatização. Em janeiro de 1998, foi criada a Companhia Ferroviária do Nordeste S/A (CFN), que passou a se chamar Transnordestina Logística S/A, a partir de 2008 com a missão de explorar e desenvolver o transporte de cargas na região (GASPAR, 2011).

Considerada uma medida estratégica para a economia da região Nordeste do Brasil, a Ferrovia Transnordestina, EF-232 e EF-116 (Figura 09) surgiu como uma proposta articuladora do desenvolvimento regional do Nordeste brasileiro, com a redução dos custos de transportes dos produtos provenientes dos polos minerais e de agronegócios existentes na região, reforçando a integração e reduzindo as desvantagens de locais desconectados dos grandes centros (BANISTER e BERECHMAN, 2003). Outra característica importante desse empreendimento é a localização estratégica dos portos de Pecém-CE e Suape-PE em relação ao mercado europeu, um dos principais destinos da soja brasileira (SILVA e BERTONCINI, 2017).

A Ferrovia Nova Transnordestina é uma ferrovia projetada para ligar o Porto de Pecém - CE, ao Porto de Suape - PE, além do município de Eliseu Martins - PI, com extensão total de 1.753 km. No futuro se conectará com a ferrovia Norte-Sul em Porto Franco. Contudo, para este estudo, foi utilizado o trecho da ferrovia previsto no Cenário VI do PNL 2035, interligando a ferrovia na malha ferroviária no município de Extreito-MA onde encontra-se com a FNS. Este traçado permite a expansão da fronteira mineral e agropecuária do cerrado, especialmente da região do MATOPIBA (BACHI, MACEDO, 2018).



**Figura 9:** Ferrovia Transnordestina - EF-232 e EF-116.



Todavia, os problemas no modelo adotado entre Estado e iniciativa privada foram determinantes para o ritmo lento da execução da obra de implantação da ferrovia. A obra foi iniciada fora de um marco jurídico claro, com obrigações e prazos mal definidos além de marcos contratuais deficientes, com obrigações desequilibradas entre União e concessionária (MACHADO, 2016). Neste sentido, entende-se que projetos estruturantes como a Ferrovia Transnordestina são formulados para estimular o desenvolvimento das áreas economicamente dinâmicas do semiárido e do cerrado nordestino, futuramente, interligando-se com a malha nacional (OLIVEIRA, 2016).

É importante atentar para o fato de que historicamente as ferrovias brasileiras não foram pensadas e projetadas para integrar o Brasil regionalmente. O objetivo inicial, e majoritariamente até então almejados, era o de possibilitar a simples ligação dos setores de produção aos centros de exportação. Em síntese, a infraestrutura ferroviária atua primariamente de forma ao atendimento local, sendo que a conexão entre as ferrovias, quando possível, para integração em malha seja um objetivo secundário. As malhas então estabelecidas eram regionais, e sua concepção tinha como objetivo transportar matéria-prima para o mercado estrangeiro (PAULA, 2014) e, posteriormente, transportar produtos industrializados até o mercado consumidor, ficando mais restrita à região Sudeste do país. Dito isso, cabe destacar que a FNS passa a ser para a logística brasileira um importante eixo ferroviário para o escoamento da produção de *commodities* agrícolas e minerais do país, bem como para o mercado interno. Segundo Campos (2015), a FNS tem promovido a redução dos custos de transporte e o aquecimento da economia do Estado de Goiás (CAMPOS, 2015).

A proposição dessas ferrovias está pautada na redução do custo logístico na tentativa de equilibrar a matriz de transporte e, conseqüentemente, beneficiar o produtor. Embora o planejamento de transporte englobe conhecimentos e análises de diversas áreas, percebe-se que o eixo central que norteou o nascimento da proposta de ambas as ferrovias supracitadas segue a tradicional premissa da macrologística orientada pelas perspectivas da economia e da engenharia (NÓBREGA; FERRAZ; BERBERIAN; MASUKAWA et al., 2016; STICH; HOLLAND; NOBREGA; O'HARA,

2011), o que dificulta em um primeiro momento o entendimento e interação do projeto em outras áreas.

Após a divulgação da primeira etapa do PIL em 2012, iniciaram-se os estudos prévios de viabilidade da Estrada de Ferro 170 (EF-170), conhecida como Ferrogrão, elaborado pela Estação da Luz Participações - EDLP, e contempla estudos minuciosos de viabilidade técnica, econômico-financeira e ambiental, está no Supremo Tribunal Federal, aguardando análise do Tribunal de Contas da União, devido à falta de conformidade com a legislação atual, sem previsão para entrar em pauta. A proposta é que a implantação de infraestrutura ferroviária da Ferrogrão tenha 933 quilômetros de extensão interligando Sinop-MT e o porto de Miritituba, no Rio Madeira, no Pará no distrito de Itaituba-PA. (BRASIL, 2021). A lacuna de 150 Km em terreno relativamente plano e altamente produtivo entre Lucas do Rio Verde e Sinop, ambos no Mato Grosso, e que possibilitaria a integração da EF-170 a EF-354, parece ser propositalmente ignorada pelas autoridades responsáveis (NOBREGA, 2020).

Assim como as demais ferrovias supracitadas, o projeto da Ferrogrão visa reduzir o custo de transporte para o escoamento das *commodities* agrícolas produzidas na região central do país, com capacidade para escoar um volume médio anual de 36 milhões de toneladas de grãos (QUINTELLA, 2016). A Ferrogrão tem como principal bandeira oferecer uma alternativa robusta e eficiente ao precário e extenso trecho atualmente percorrido por caminhões ao longo da recém asfaltada BR-163 (SOUZA et al., 2023). Fearnside (2022) e Lacerda (2022) estimam que a nova ferrovia possa substituir as rodovias BR-163 e Transamazônica (BR-230) no transporte de cargas aos portos do Arco Norte, mesmo com a recém pavimentação da BR-163 executada às pressas pelo corpo de engenharia do Exército Brasileiro e sem o devido debate nos campos técnico, social e ambiental (FEARNSIDE, 2022, LACERDA, 2022).

Criada pela Lei 12.743, de 19 de dezembro de 2012, que altera as Leis nº 10.233, de 5 de junho de 2001, e nº 12.404, de 4 de maio de 2011, a Empresa de Transporte Ferroviário de Alta Velocidade S.A. (ETAV) e passou a ser Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL), uma empresa estatal com a finalidade de estruturar e qualificar o processo de planejamento integrado de logística no país, interligando rodovias,

ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias. A EPL desenvolveu então a nova versão do Plano Nacional de Logística (PNL), objetivando a longo prazo, planejar a infraestrutura de transportes do Brasil. Tendo como base um diagnóstico atual, o PNL identifica e propõe soluções que possam contribuir para o desenvolvimento da logística nacional, integrando os planejamentos setoriais, de forma a promover o desenvolvimento regional e nacional.

Em novembro de 2021 o Ministério da Infraestrutura (MInfra) e a EPL apresentaram o Plano Nacional de Logística 2035, que teve como objetivo considerar as transformações ocorridas e planejadas na matriz multimodal de transporte do Brasil, tornando-a mais racional e sustentável e integrado, de modo a permitir traçar uma visão estratégica da rede de transporte no futuro (CRISTIANO et al. 2023). Foram elaborados cenários futuros que indicam necessidades e oportunidades para a infraestrutura de transportes, aumento da eficiência do transporte de cargas do país e promoção da redução de custos (ANTT, 2022). O PNL 2035 abrangeu todos os modos de transportes, rodovias federais, estaduais e municipais; toda a rede ferroviária; as redes de navegação em vias interiores, navegação lacustre, navegação de cabotagem e navegação de longo curso; a rede dutoviária e os aeroportos com movimentação de voos regulares (MINFRA, EPL, 2021). A partir dos dados de notas fiscais eletrônicas, foram construídas matrizes de origem e destino de cargas em peso para o ano de 2017, sendo os produtos agrupados por características de transporte (Figura 10).



Quadro 1: Relação entre os grupos de carga do PNL e as 38 categorias de macroprodutos

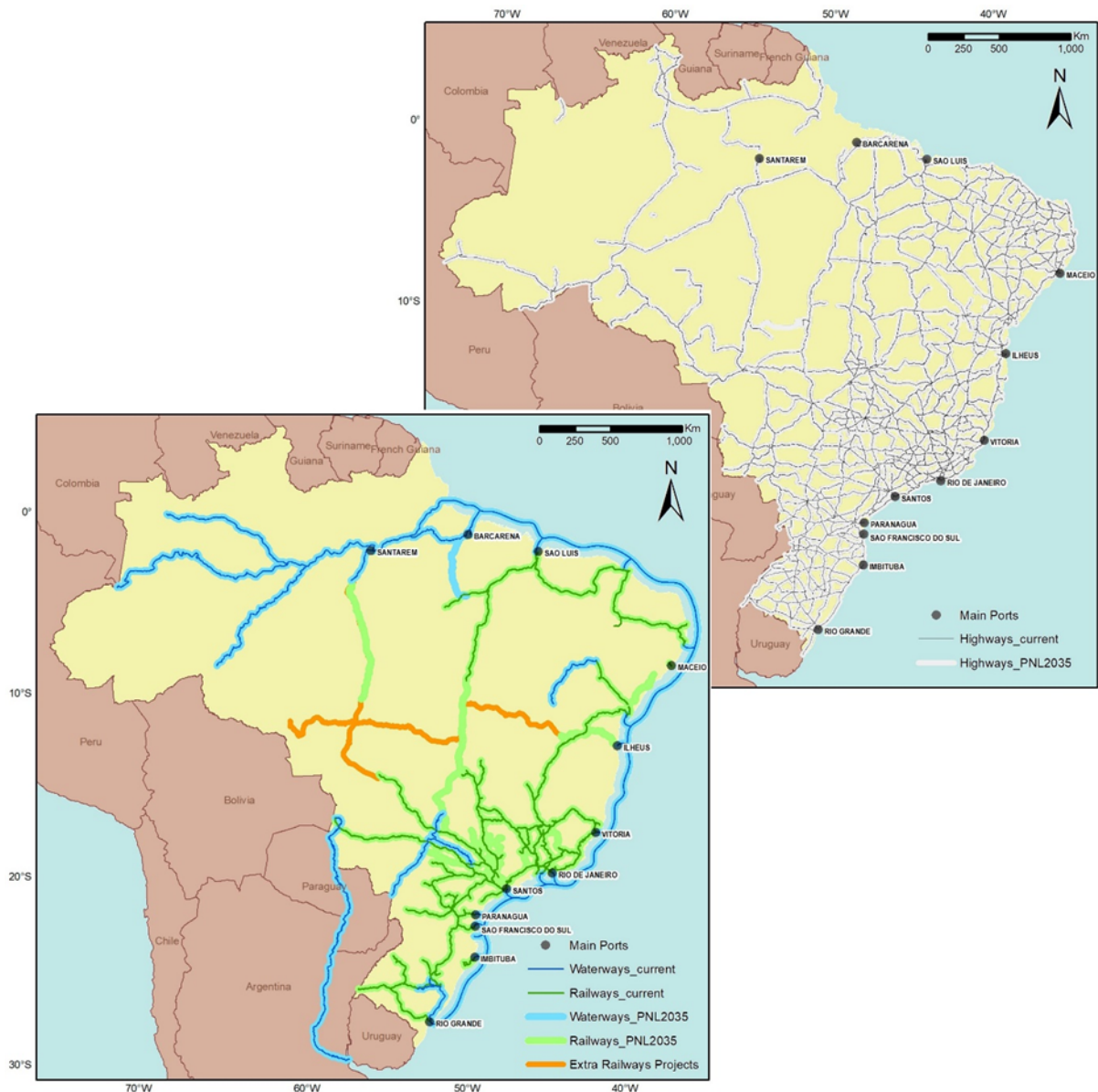
Grupos de Carga	Macroprodutos
<b>Graneis Sólidos Minerais (GSM)</b>	- Minério de ferro
<b>Outros Graneis Sólidos Minerais (OGSM)</b>	- Fertilizantes - Outros minerais - Subprodutos do minério de ferro
<b>Graneis Líquidos (GL)</b>	- Biodiesel - Etanol - Gás Natural - Óleo diesel - Petroquímicos
<b>Graneis Sólidos Agrícolas (GSA)</b>	- Açúcares - Farelos - Milho em grão - Soja em grão
<b>Cargas Gerais Containerizáveis<sup>2</sup>(CGC)</b>	- Alimentos processados - Bebidas - Cervejas de malte - Bebidas exceto cervejas de malte - Borracha e suas obras - Carnes - Cosméticos - Fármacos - Instrumentos e equipamentos profissionais - Laticínios - Máquinas e equipamentos elétricos - Máquinas e equipamentos mecânicos - Mobiliário - Outros cereais e Produtos agrícolas - Outras cargas gerais containerizáveis - Papel - Plásticos e suas obras - Produtos da indústria gráfica - Produtos químicos industriais - Produtos químicos orgânicos
<b>Cargas Gerais Não Containerizáveis<sup>3</sup>(CGNC)</b>	- Animais vivos - Ferro - Máquinas pesadas - Obras de ferro fundido, ferro ou aço - Outras cargas gerais não containerizáveis - Veículos

Fonte: EPL (2021)

<sup>2</sup> Cargas Gerais Containerizáveis: Cargas Gerais passíveis de serem containerizadas, por possuírem dimensão e peso compatíveis com a capacidade de um contêiner.

<sup>3</sup> Cargas Gerais Não Containerizáveis: Cargas Gerais que não são passíveis de serem containerizadas, por não possuírem dimensão ou peso compatível com a capacidade de um contêiner.

Tomando como base as camadas oriundas do PLN-2035 da Empresa de Planejamento e Logística do Governo Federal (EPL), a Figura 11 compara a infraestrutura de transporte existente (ilustrada em traços finos) com a infraestrutura proposta do PNL 2035 (traços espessos). Cabe ressaltar que a ferrovia Transnordestina, infraestrutura atualmente em construção, não foi incluída pela EPL no referido plano.

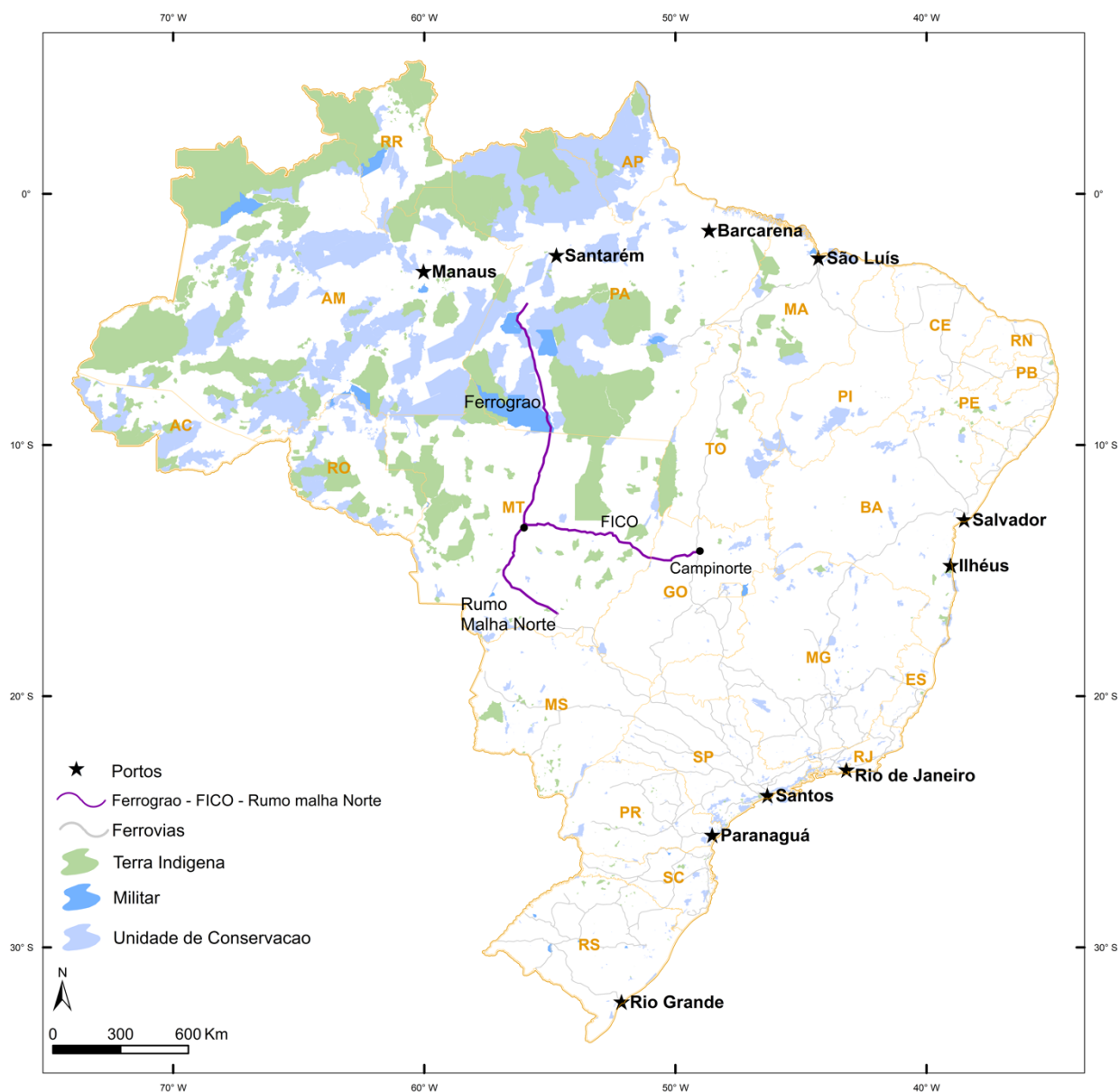


**Figura 11:** Infraestrutura de transporte atual e proposta no PLN 2035. Fonte: Costa et al. (2022).

Embora potencialmente eficientes no que tange aos aspectos estratégicos da macrologística nacional, as implementações apresentadas nos históricos planos de transporte brasileiros não trazem informações claras à consulta da sociedade, deixando margem à subjetividade de interpretações. Trabalhos como Pereira (2018) e Resende (2001) reforçam a necessidade de transparência sobre as análises e projeções do nível de serviço dos segmentos rodoviários, ferroviários e aquaviários como parâmetro de seleção de trechos candidatos à melhorias e à reabilitação (PEREIRA, 2018; RESENDE, 2001).

Por fim, é importante destacar a aprovação da Medida Provisória número 1065, de 30 de agosto de 2021, trouxe o Novo Marco Regulatório das Ferrovias Brasileiras em agosto de 2021, criada para desburocratizar o setor para a construção de novos trechos. O objetivo é eliminar a necessidade da realização de processos de licitação, com os estados e municípios podendo outorgar ferrovias que não façam parte da infraestrutura ferroviária nacional. Sob esse novo marco, a Rumo Logística assinou contrato com o governo do Estado do Mato Grosso para construir a Malha Norte interligando as cidades de Nova Mutum e Lucas do Rio Verde a Rondonópolis no estado do Mato Grosso, com as obras iniciadas em 2022. Esse projeto facilitará o escoamento de *commodities* agrícolas para o porto de Santos, bem como o transporte de insumos agrícolas para o Mato Grosso.

Ao comparar os traçados propostos para as Ferrovias FICO, Ferrogrão e Rumo Malha Norte, percebe-se claramente o objetivo dos projetos, de escoamento da produção agrícola da região Centro Oeste com destino aos tradicionais portos marítimos, sobretudo Santos-SP e Paranaguá-PR. Cabe observar que os três projetos mencionados acima concorrem com a mesma demanda, e que por estar em fase construção enquanto os demais ainda se encontram em fase de projeto, a Rumo Logística saiu na frente, podendo inclusive atenuar a relevância dos demais projetos após o início de sua operação.



**Figura 12:** Infraestrutura de transporte atual, FICO, Ferrogrão e RUMO Malha Norte.

## 2.2 – Aspectos estratégicos do planejamento da infraestrutura de transportes brasileira

A infraestrutura de transporte é importante para o estabelecimento e a sustentabilidade econômica e produtiva da população (NOBREGA e STICH, 2012). As vias de escoamento desempenham papel vital no crescimento da produção privada e na economia regional, sobretudo dos países em desenvolvimento, podendo tornar uma região mais atraente a investimentos e, portanto, incentivar investimentos

privados (CRAFTS, 2009, TRIPATHI e GAUTAM, 2010). Isso, por sua vez, promoverá o desenvolvimento econômico (BARZIN et al., 2018). Em essência, a infraestrutura de transporte assume papéis essenciais na sociedade, além de promover a circulação de pessoas e cargas. O tópico “As relações de transporte, a integração espacial e a ‘anulação do espaço pelo tempo’, do livro “A produção capitalista do espaço” de Harvey (2005) traz importantes reflexões para analisar a importância econômica e o papel do transporte e de suas estruturas físicas no processo de acumulação capitalista. Segundo o autor:

“O modo capitalista de produção fomenta formas baratas e rápidas de comunicação e transporte, para que ‘o produto direto possa ser realizado em mercados distantes e em grandes quantidades’, ao mesmo tempo em que novas ‘esferas de realização para o trabalho, impulsionadas pelo capital’, podem se abrir.” (HARVEY, 2005).

Tais afirmações são vitais para se compreender o potencial que a infraestrutura viária pode proporcionar para o desenvolvimento e sustentabilidade econômica da sociedade. Contudo, há casos em que a infraestrutura de transporte é instalada de forma pontual integrando modernos portos às modernas indústrias, minimizando a dependência de uma infraestrutura viária terrestre, fenômeno que se intensificou nas últimas 3 décadas em muitos países asiáticos (BOCHENSKI et al., 2021; SEO e PARK, 2017; LI et al., 2012). Esta estratégia tem sido válida para os novos centros industriais em países como Coreia do Sul, que importam o insumo utilizado nas indústrias, manufaturam os produtos nas proximidades do porto e ali mesmo os distribuem na cadeia logística para atendimento ao mercado exterior, que segundo Costa et al. (2022), não é parte da natureza dos portos em países geograficamente extensos e produtores de *commodities* agrícolas e minerais, incluindo o Brasil.

No contexto macro logístico brasileiro, os portos desempenham papel catalizador de entrada e de saída de bens e produtos, (SOUSA et al., 2021; QUADROS e NASSI, 2015), porém estes são altamente dependentes da conectividade proporcionada pela infraestrutura de transporte terrestre (COSTA et al., 2022; MOURA et al., 2021; PEINE, 2021). Para tanto, melhorar a infraestrutura de transporte e aumentar a



conectividade das regiões brasileiras é crucial para o desenvolvimento econômico favorecendo a redução dos custos de transporte (BRAGANÇA et al., 2022).

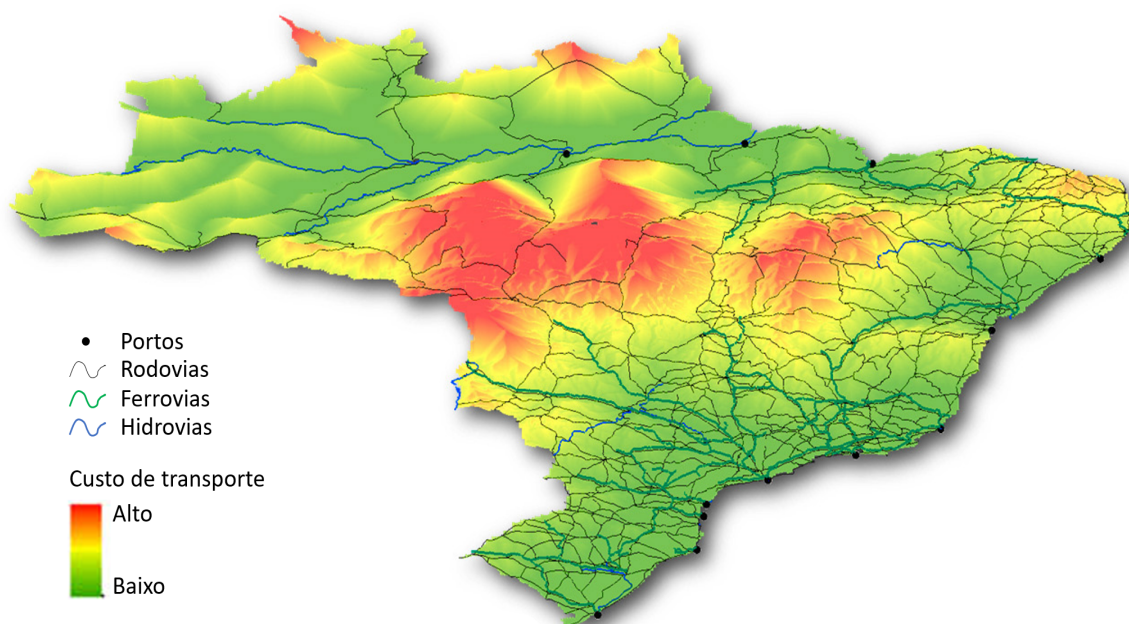
Atualmente no Brasil, apenas cerca de 20% do total das cargas transportadas segue sobre os trilhos (ALVES FILHO, 2021). Esse cenário é um reflexo direto dos efeitos da estagnação, quando não do encolhimento da malha ferroviária nacional a partir da segunda metade do século XX e consequente perda de capilaridade dessa malha como por exemplo os ramais das malhas paulista e gaúcha implantados, tornando a rodovia majoritariamente a única opção viável (PAULA, 2014, MATOS, 1974). Simultaneamente, ocorreu também a ocupação de novas fronteiras agrícolas, estas totalmente desacompanhadas de infraestruturas ferroviárias como vetor de suporte logístico, como é o caso do Mato Grosso e a região de MATOPIBA (Souza et al., 2018).

A infraestrutura viária proposta, sobretudo as ferrovias estruturantes como a EF-151 (Ferrovia Norte-Sul), EF\_354 (Ferrovia da Integração Centro-Oeste), EF-334 (Ferrovia da Integração Oeste-Leste) e EF-232 (Ferrovia Transnordestina) propõe a potencialização tanto no escoamento da produção agrícola como no abastecimento de insumos para o campo, cujo cenário poderá induzir à interiorização de indústrias e a criação de postos de trabalho (SOUZA et al., 2019).

Contudo, a logística de escoamento nas novas fronteiras agrícolas do Centro-Norte e Centro-Oeste tem sofrido mudanças nos últimos anos, na medida em que a expansão agrícola tem crescido na direção norte do Estado do Mato Grosso e as empresas do setor estão passando a investir em terminais de transbordo no rio Madeira em Miritituba-PA e a embarcar parte de suas cargas pelos portos do chamado Arco Norte em Itacoatiara-AM, Itaqui-MA, Santarém-PA, Barcarena-PA e Salvador-BA (NÓBREGA et al., 2016). Segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), passam atualmente por estes portos 20% da soja exportada pelo Brasil.

Por muitos anos, a escassez de opções logísticas viáveis e a inexistência de acessos terrestres suficientes para levar as cargas aos portos do Arco Norte fez com que os exportadores de grãos recorressem a portos mais distantes. Os principais portos ficam

a cerca de 1500 km de distância da região central do Brasil, fazendo com que o custo do transporte de *commodities* do tipo granel sólido agrícola represente até 28% do valor do produto. A Figura 13 ilustra geograficamente tal fenômeno. Cabe ressaltar que os contratos que precificam as *commodities* agrícolas de exportação são definidos considerando o produto no porto de embarque, o que deixa a componente custo interno de transporte como uma variável a ser modelada a cargo do produtor (Costa et al., 2022).



**Figura 13:** Espacialização em perspectiva do custo de transporte de granel sólido agrícola no Brasil considerando a infraestrutura de transporte do PLN de 2017. Adaptado de Costa et al. (2022).

Com base no preâmbulo apresentado, bem como no fato que o Brasil figura como um dos principais fornecedores de insumos primários para a indústria de beneficiamento de produtos agrícolas e minerais e de construção civil, é evidente imaginar que melhorias na infraestrutura de transporte nacional são capazes de promover ganhos no desempenho logístico. Essa proposição vai ao encontro da demanda da globalização econômica em que as *commodities* brasileiras estão inseridas, a qual exige a produção e entrega de produtos de forma rápida aos clientes em todo o mundo. Para isso, as cadeias de suprimentos e insumos devem estar integradas aos sistemas logísticos de forma mais eficaz (RONDINELLI; BERRY, 2000).

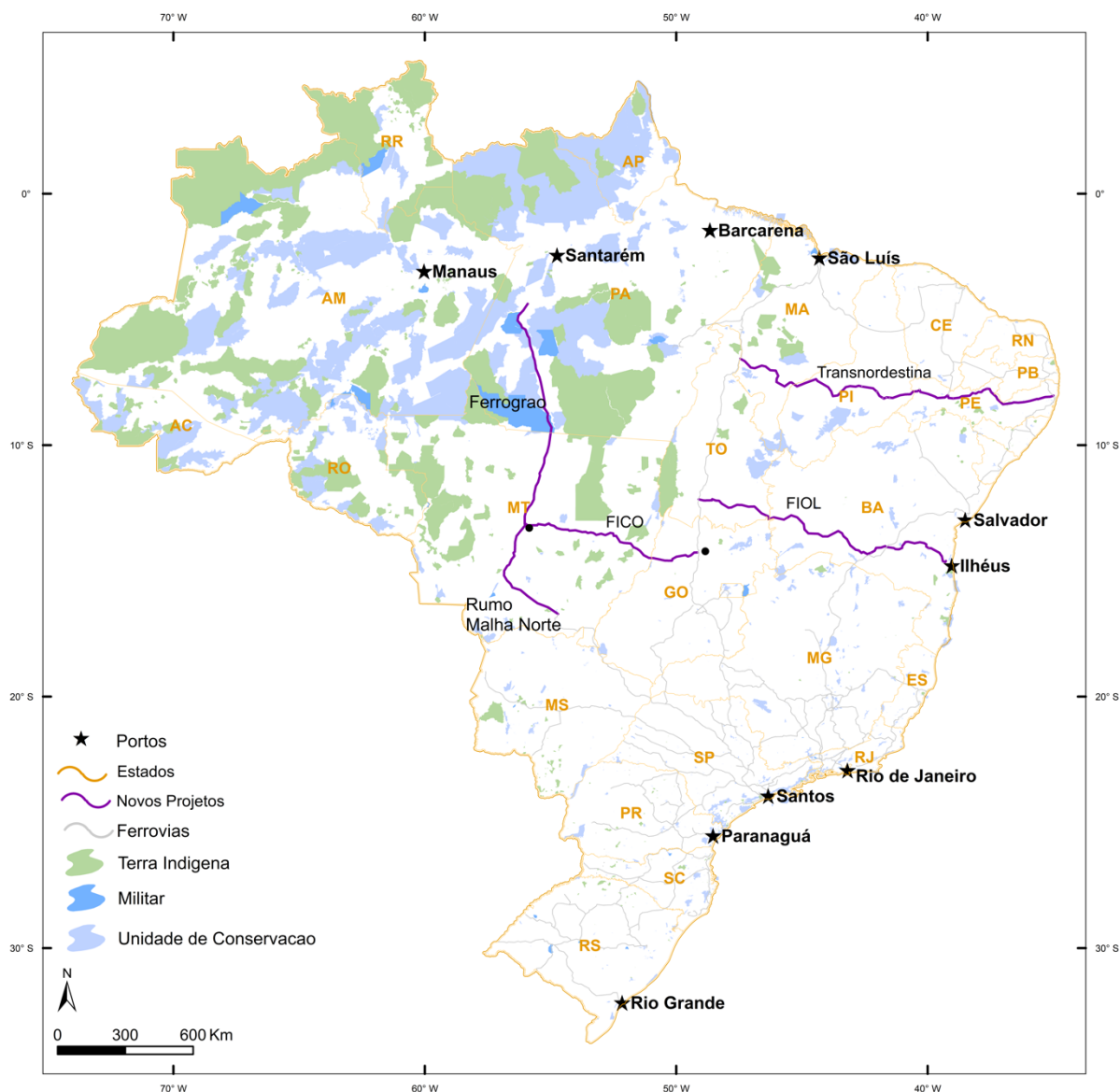
Em adição à disponibilidade de infraestrutura para mover a carga, há de se considerar também fatores de natureza geográfica e legal da região produtora na composição do preço do produto. Se por um lado a disponibilidade hídrica, condição climática e terras a preços acessíveis têm beneficiado a economia de escala do agronegócio brasileiro, por outro lado o transporte das cargas a grandes distâncias entre o campo e a indústria ou porto, sobretudo em uma malha precária e com modos inadequados ao propósito, tem sido o fator preponderante que impede a redução do preço final (BERTUSSI e ELLERY JUNIOR, 2012; SILVA et al., 2012). Neste contexto, a situação do cenário brasileiro para a exportação agrícola e importação de fertilizantes é relativamente oposta ao que ocorre nos Estados Unidos, principal concorrente, onde a eficiência logística de seu sistema multimodal promove menor tempo e menor custo de transporte. Todavia, essa redução é atenuada quando integrada ao custo de produção no campo, fruto de um alto custo da terra, de mão de obra onerosa, além de limitações hídricas e climáticas (NÓBREGA et al. 2016).

No campo da teoria, a literatura científica tem discutido questões sobre metodologia mais apropriada para a formulação e avaliação de políticas de transporte, como formas participativas ou *bottom-up* e *top-down* (STICH et al., 2011), ou no tocante às ferramentas de decisão por análises de custo-benefício, análise multicritérios ou a combinação de ambas (NOBREGA e O'HARA, 2011; DAMART e ROY, 2009; NAESS, 2006). Contudo, a literatura ainda é escassa sobre as opiniões dos verdadeiros tomadores de decisão da política de transportes sobre efetividade das ferramentas de avaliação que na verdade deveriam ajudá-los (ANNEMA et al., 2015). Os gestores e tomadores de decisões lidam com diversos projetos, cada qual com dezenas de processos de projetos simultaneamente ou sequencialmente, não sendo humanamente possível avaliar de forma assertiva todas as opções a partir de heurísticas simples (MACKIE et al., 2014). Combinado a complexificação das políticas de transporte (STICH et al., 2011), este quadro tem sido um dos grandes desafios para a modernização do planejamento de transporte (NOBREGA, 2020).

### **2.3 - A Polêmica Interface entre Transporte e o Meio Ambiente**

É fato que as pressões pelo desmatamento estão aumentando como consequência dos planos de expansão das plantações de soja e outras culturas de exportação, incluindo biocombustíveis, atividades minerárias, barragens e outras ações antrópicas (PEREIRA et al., 2020; RONDINELLI e BERRY, 2000), sobretudo em áreas remotas e ambientalmente sensíveis como o entorno das rodovias e ferrovias (TISLER et al., 2022). A modelagem de simulação, é uma ferramenta essencial que pode aumentar a percepção do comportamento das espécies e o impacto causado pelas vias de transporte quantificando os impactos nas populações (DORNAS et al., 2019; BEAUDRY et al., 2008; BORDA-DE-ÁGUA et al., 2014; JAEGER et al., 2005).

Estima-se que a instalação e operação das ferrovias FICO, FIOL, Transnordestina e Ferrogrão deverá estimular o aumento da conversão de terras para uso agrícola, sobretudo nos biomas Amazônia e Cerrado e, por consequência, acarretar o aumento do desmatamento, a eliminação de remanescentes florestais e a perda de conectividade impactando diversas áreas protegidas, como Terras Indígenas e Unidades de Conservação (Figura 14).



**Figura 14:** Sobreposição das infraestruturas existentes e planejadas com as áreas protegidas.

A ocupação dessas áreas florestais, sobretudo na Amazônia, representa um risco para todo o planeta, pois afeta um dos maiores estoques de carbono do mundo (SAATCHI et al., 2011). Diante da crescente pressão antrópica e ineficiência da política ambiental no planejamento e gestão de infraestruturas de transporte em áreas vulneráveis, trabalhos como Laird e Vernables (2017) sugerem como estratégia abrangente de conservação a proteção de toda a gama de espécies e diversidade de ecossistemas e a estabilidade dos climas. Outros estudos revelam que as áreas protegidas no entorno de rodovias em áreas remotas podem atuar como escudos,

protegendo os povos tradicionais, a biodiversidade, os estoques de carbono e os serviços ecossistêmicos (SOARES-FILHO et al., 2010).

Contudo, percebe-se que em muitas economias subdesenvolvidas e em desenvolvimento, a urgência em promover o crescimento econômico contraditoriamente implica em custos ambientais e sociais que tradicionalmente são negligenciados nos projetos, retrato no qual o Brasil infelizmente ainda se enquadra. Embora a necessidade de se respeitar as questões ambientais e sociais seja reconhecida em diretrizes setoriais e valores subjacentes, na prática elas são mal consideradas (MALVESTIO et al., 2018). Com isso, os desafios em relação à obtenção de transporte sustentável são particularmente altos.

Há indícios de que o setor de transporte no Brasil se mostrou incapaz de internalizar impactos ambientais e sociais de forma mais completa, incluindo, em particular, a fragmentação da paisagem (AMANN et al., 2016). Embora as definições de transporte sustentável sejam amplas, a necessidade de transporte que reduz os impactos ambientais, sociais e econômicos é crítica e oportuna (BLACK, 1996). O custo da produção agrícola do país não se restringe ao dinheiro investido na infraestrutura e no sistema de produção, mas inclui também o custo de oportunidade dos serviços ambientais perdidos causado pelo impacto sobre os ecossistemas naturais. Estes impactos não estão incluídos no Relatório de Impactos sobre o Meio Ambiente (RIMA) e tampouco no processo de licenciamento de projetos (FEARNSIDE, 2022). Embora as análises espaço-temporais possam soar como novidade se comparadas ao tradicional universo do planejamento de transporte, estas têm sido desenvolvidas há décadas na academia e atualmente possuem maturidade para apoiar e aperfeiçoar práticas de planejamento e gestão (NÓBREGA et al., 2016) e promover a integração e a transversalidade necessária ao setor.

#### **2.4 - A necessidade de transversalidade no Planejamento de Transportes**

A natureza dos processos de planejamento de transporte, sobretudo após a implementação do National Environmental Policy Act pelo congresso federal norte americano em 1969, oficializou a discussão e a necessidade de regulamentação de ações para redução do impacto ambiental (TRIPP e ALLEY, 2004). Para Stich et

al.,(2011), as políticas de transporte evoluíram para um complexo sistema que inclui também aspectos sociais, culturais, econômicos em micro e macro escala que devem ser incluídos no processo de tomada de decisão.

A perspectiva cartesiana tradicionalmente praticada no planejamento de transportes, a qual prepondera o uso de fatores de cunho físico e logístico na escolha do traçado, e de CAPEX e OPEX como base para viabilidade econômica do empreendimento, não contempla o universo de aportes ao qual um projeto de infraestrutura de transportes deve ser atualmente submetido (NOBREGA, 2020). A abordagem tradicional dos problemas de transporte centra-se na economia dos custos e não inclui no rol de condicionantes as alterações ambientais e sociais causadas além das áreas de influência dos projetos (NÓBREGA et al., 2016; STICH et al. 2011). Modelos gravitacionais demonstram valores inferiores de negócios quando a distância geográfica substancialmente aumenta (HUANG, 2007; OBSTFELD e ROGOFF, 2001). Especificamente sobre a economia de custos, existem dois princípios fundamentais que norteiam as operações e gerenciamentos de transportes, a saber: a economia de escala e a economia de distância (DAVID e DONALD, 2004).

A interiorização do processo produtivo das *commodities* de exportação brasileiras, em especial dos produtos agrícolas, aumenta ainda mais a distância geográfica, e conseqüentemente o tempo e o custo do transporte destes produtos (MEDEIROS, 2021; PEREIRA et a., 2012). Não obstante, a abertura de vias para escoamento nestas novas fronteiras agrícolas é um processo complexo e que não pode ser desenvolvido nos mesmos moldes dos planos de expansão ferroviária e rodoviária vivenciados no século passado (LEON et al., 2019). Conseqüentemente, os desafios em relação à obtenção de transporte sustentável são altos.

Em uma visão holística, percebe-se que o setor de transporte no Brasil se mostrou incapaz de internalizar impactos ambientais e sociais de forma mais completa, incluindo, em particular, a fragmentação da paisagem (FEARNSIDE e GRAÇA, 2006). A necessidade de transporte que reduz os impactos ambientais, sociais e econômicos é oportuna (NOBREGA, 2020; BLACK, 1996). Paralelamente ao crescente interesse dos decisores políticos em avaliar e dar prioridade aos corredores de transporte, tem

havido um aumento do interesse por parte da academia em avaliar empiricamente os impactos econômicos, sociais e ambientais das grandes infraestruturas de projetos de transportes (TISLER et al., 2022; NOBREGA, 2020; BERG et al., 2017; LAIRD, 2017; REDDING, 2015). Isto tem sido impulsionado por novas técnicas para avaliar rigorosamente os impactos econômicos desses projetos, devido ao grande interesse de investimentos estrangeiros em grande escala em redes de transporte, por países como China (ROBERTS et al., 2018).

Cabe também mencionar que a delimitação das áreas de influência de um empreendimento é de suma importância para a avaliação dos impactos gerados pela instalação do projeto, uma vez que nelas se propagam os efeitos positivos ou negativos de sua instalação. As áreas de influência podem ser divididas em Área Diretamente Afetada (ADA), é aquela onde o empreendimento será implantado, Área de Influência Direta (AID), sendo aquelas áreas mais próximas do empreendimento afetadas diretamente pela instalação, e Área de Influência Indireta (AII), que compreende as áreas afetadas por impactos indiretos ocasionados pelo efeito cumulativo e sucessivo que as modificações causadas no espaço geram (CARVALHO et al., 2018). As informações levantadas no volume 1166 do Transportation Research Records – Issues in Environmental Analysis norteiam, até a presente data, muitas das diretrizes utilizadas ao redor do mundo para análises de impactos ambientais diretos, indiretos e impactos ambientais induzidos pela infraestrutura e operação de transporte (HAMILTON, 1988 ; LINDEMAN, W., WILT JUNIOR, J. R., 1988 ; MAESTRI et al. 1988).

Embora as autoridades ambientais, patrimoniais e sociais estejam empenhadas em cumprir com requisitos técnicos para assegurar a legalidade da emissão de licenças prévias, de implantação e de operação das infraestruturas de transporte<sup>2</sup>, os estudos praticados apresentam limitações no tocante aos impactos indiretos distantes no espaço e no tempo (Souza et al., 2019). Assim, a avaliação ex-ante dos principais planos de transporte, em conjunto com seus impactos diretos e indiretos no meio ambiente, nas economias locais e regionais faz-se necessária, bem como a

---

<sup>2</sup> Também se aplica a infraestruturas de transmissão de energia elétrica e dutos.



investigação da ligação entre o produto, a infraestrutura de transporte e o destino deste produto, objetivando a redução do custo do transporte e otimização das rotas.

Contudo, não se pode planejar o sistema de transporte nacional em partes que atendam a demandas isoladas. Em seu nível mais amplo, a infraestrutura viária compreende o tráfego de veículos e o conjunto de vias – rodovias, ferrovias, hidrovias e aerovias (RUTNER e LANGLEY, 2000). É necessário que seja pensado como um grande sistema com conexões entre modos de forma a permitir a operacionalização do sistema de transportes com o menor custo, menor tempo e principalmente com o menor impacto na transformação da paisagem.

No tocante a sua influência na paisagem, cabe ressaltar que as infraestruturas lineares de transporte são oriundas de atividades humanas, e como tal estão se expandindo rapidamente. Em regiões economicamente desenvolvidas, a abertura de novas vias promove o adensamento espacial da malha (OLIVEIRA et al. 2021), contudo os reflexos mais notáveis ocorrem em regiões remotas onde historicamente as infraestruturas de transporte terrestres têm tido um papel importante na abertura de regiões tropicais florestadas à colonização e exploração destrutivas (LAURANCE et al., 2009). Neste sentido, incluir os estudos de impactos e alterações na paisagem, além da eficiência econômica em uma perspectiva de planejamento de transporte, é também fundamental para prover um projeto sustentável e efetivamente eficaz.

Em linhas gerais, projetos de infraestrutura de transporte, em especial os projetos de segmentos ferroviários como os anunciados no Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) em 2010, alterado em 2012 para Plano de Investimentos em Logística (PIL), e atualmente denominado Plano Nacional de Logística (PNL), bem como as atuais Concessões Ferroviárias anunciadas sob a forma de Procedimento de Manifestação de Interesse (PMI)<sup>3</sup>, requerem intensos estudos de viabilidade para assegurar o investimento e conhecer os custos, os benefícios e os riscos do projeto (NOBREGA et al., 2016). O planejamento do projeto deve assegurar que os recursos da União sejam devidamente empregados e que o projeto apresente viabilidade e

---

<sup>3</sup> Informações disponíveis em <http://logisticabrasil.gov.br/ferrovias2> <acesso em 05/07/2018>

sustentabilidade econômica, técnica, social e ambiental, tanto da infraestrutura a ser construída quanto da região servida pela via.

A análise isolada das competências e os avanços em diferentes pastas da administração pública torna difícil enxergar potenciais ganhos ou perdas pela ausência de sinergia nos resultados de projetos de natureza multidisciplinar. Um exemplo bem sucedido de sinergia e planejamento integrado foram as sementes plantadas com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA- em 1973. A iniciativa foi proposta e gerida entre as pastas responsáveis pela agricultura e abastecimento e ciência e tecnologia que incluiu a capacitação de recursos humanos e formação de centros aplicados à vocação natural de diferentes regiões do país (CABRAL, 2020). O sucesso é tamanho que transformou e mantém o Brasil no topo da cadeia de produção de diversos produtos agropecuários.

Contudo, também em 1973, o Brasil apresentou sua então nova versão do PNV para a interiorização do país sem que este estivesse amarrado à estratégia de médio e longo prazo da EMBRAPA (COSTA et al., 2022). Nota-se hoje uma falha clara de sinergia e transversalidade e sinergia entre projetos estratégicos nacionais que poderia ter resultado no avanço econômico do país.

## **2.5 - Geoprocessamento no Planejamento de Transportes**

Embora as origens do SIG tenham ocorrido ainda na década de 1960, foi a partir dos anos 1980 que o geoprocessamento abarcou o setor de transportes. O programa TIGER (*Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing*) do *United States Census Bureau* intensificou as ações governamentais em prol da produção e tratamento de dados geográficos nos Estados Unidos através de um modelo que utilizou em primeiro plano a estrutura viária federal e estadual como referência para o georreferenciamento de outros planos de informação, como os setores censitários e limites administrativos (MILLER, 1999 ; FLETCHER, 2002). A magnitude geográfica dos projetos de transporte e principalmente o aporte de recursos contribuiu significativamente para o aprimoramento dos programas e a popularização do geoprocessamento, fato que levou ainda na década de 1990 a proposição do *Geographic Information System for Transportation* (GIS-T) que visava organizar e

coordenar ações de pesquisa para aperfeiçoamento das técnicas de geoprocessamento no âmbito dos transportes (RODRIGUE et al., 2006 ; FLETCHER, 2002).

O SIG, que ganhou projeção com o GIS-T nos anos 1980-1990 (NIEMEIER e BEARD, 1993) e popularidade com a informática nos anos 1990-2000, é hoje uma ferramenta indispensável em projetos dessa natureza, sobretudo pela capacidade de organizar e processar grande quantidade de informações e permitir sua integração num contexto espacial (LOVELACE, 2021; SADASIVUNI et al. 2009). Iniciativas como (LIMA et al., 1999; SILVA et al. 1997)) foram responsáveis pela introdução e disseminação do GIS-T majoritariamente na academia.

Nota-se que a informação espacial foi inicialmente utilizada para apoiar consultas em prol da organização de operações públicas e privadas como, por exemplo, onde instalar centros de distribuição e facilidades de transferência multimodais. Contudo, com o aumento do desempenho de sistemas computacionais de pequeno porte e conseqüentemente a popularização da informática motivaram o desenvolvimento de pesquisas e iniciativas em geoprocessamento voltadas ao setor de transportes (GUPTA et al., 2003 ; EASA et al., 2002). Os órgãos de trânsito passaram a demandar planejamento de rotas e horários, rastreamento veículos e a lidar a possibilidade de prover suporte a incidentes e acidentes que provocam atrasos no sistema de transporte e oferecer informação sobre o sistema ao público em deslocamento (LONGLEY et al., 2013).

No Brasil, embora a mobilização tenha atingido setores da administração pública posteriormente, há iniciativas e ações de estímulo ao emprego de geoprocessamento em transportes, como o Plano Diretor de Geoprocessamento (VALEC, 2013) para planejamento de projetos ferroviários, DNIT-Geo para visualização e disponibilização dos dados da infraestrutura viária, e as ações da Secretaria de Fiscalização de Infraestrutura Portuária, Hídrica e Ferroviária do Tribunal de Contas da União, que visa recorrer à geotecnologias para auditoria, fiscalização e controle externo de obras públicas (BERBERIAN et al., 2016). Segundo Ferreira Junior (2016), o DNIT tem se preocupado com a utilização do geoprocessamento no planejamento dos sistemas de

transportes, e enfoca o uso da geotecnologia na reestruturação do seu sistema. Segundo o órgão:

“Sob a Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos – CGPLAN, está implantando um núcleo de Geoprocessamento, com uma visão multimodal, cuja principal missão é elaborar e manter toda base de dados geográfica, devidamente georreferenciada, representativa dos dispositivos integrantes do sistema de transporte, de modo a garantir a padronização, a qualidade, a unificação e a atualização dos dados” (DNIT, 2019).

O geoprocessamento no âmbito dos transportes viabiliza a análise espacial dos problemas, e seu emprego transcende a simples representação de uma malha viária ou localização de pontos de origem e destino de determinado estudo, permitindo a possibilidade de se tomar decisões assertivas sobre diversos cenários. Ferreira Junior (2019) conclui que:

“A existência de demanda do uso de geotecnologias nos transportes e que sua aplicação não está sendo somente bem-aceita, mas sim necessária. As aplicações são diversas, todavia é vital a importância do profissional que irá operar o sistema.”

A complexidade das decisões envolvidas no atual planejamento de transporte transcende a elevada, porém limitada, quantidade de variáveis envolvidas na perspectiva tradicional por décadas utilizada no processo (STICH et al., 2011). Frente a isso, a inclusão de informações ambientais, socioeconômicas e culturais em meio às informações tradicionais de engenharia passa a ser de extrema importância a sinergia entre diferentes atores no processo de tomada de decisão passa a ser o elo principal no processo de modernização do planejamento de transportes (NOBREGA 2020 ; NOBREGA et al., 2016). Todavia, essa inclusão eleva a gama de variáveis e de dados a serem analisados. Neste contexto, o problema passa a ser que os métodos tradicionais de estudo, repetidos há décadas, porém utilizando métodos de desenho assistidos por computador, são limitados quanto ao volume de informação para que este não inviabilize a tomada de decisão que ainda é uma tarefa manual. Com isso, a inteligência geográfica passa a ser uma peça fundamental para auxiliar o processo de modernização do planejamento de transportes, por possibilitar o desenvolvimento de

modelos multicriteriais complexos que podem envolver a elevada gama de variáveis e operações requeridas atualmente nos estudos (NOBREGA, 2020). Mais do que isso, o desenvolvimento de modelos baseados em inteligência geográfica pode possibilitar a compilação de cenários preditivos, elevando o potencial do planejamento de transportes para um estágio de conforto e segurança na tomada de decisão nunca antes vivenciados (SOUZA et al., 2019 ; USDOT, 2008).

Um modelo pode ser entendido como uma estruturação simplificada da realidade que apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes (CHRISTOFOLETTI, 1999). Na computação, um modelo em geral é idealizado e construído para descrever um evento do mundo real através de números. A depender da finalidade, sua construção pode ser complexa e exigir aprofundado estudo, análise e validação. Importante compreender que um modelo deve ser exaustivamente testado e sempre aprimorado para produzir resultados cada vez mais próximos aos reais. Trabalhos como o de Lopes et al. (2016) e Silva e Marujo (2012) modelam e analisam a otimização de modelos intermodais para escoamento da produção de soja, incluindo também investigações como a de Silva et al. (2013) que modela estimativas da matriz origem-destino da cadeia produtora-exportadora dessa *commodity* no Brasil. Contudo, embora estejam inseridas no contexto geográfico essas investigações estão pautadas no escopo da otimização logística do processo.

No planejamento de transportes, a avaliação ex-ante permite o estudo de alternativas do projeto, tanto tecnológicas quanto posicionais (BARBOSA et al., 2020; MEIJER et al., 2018; GALLARDO e SÁNCHEZ, 2004), bem como predições sobre o desempenho, custo operacional ou impactos relacionados a propostas de intervenção e reformulação da infraestrutura viária (COSTA et al., 2022, MEDEIROS, 2021). À medida que o projeto está sendo sucessivamente detalhado, novas soluções podem ser encontradas que contribuem efetivamente para reduzir os impactos negativos (GALLARDO; SÁNCHEZ, 2004). O uso de cenários e alterações em variáveis permitem uma avaliação cuidadosa de que, possivelmente, resultam em soluções não apenas para evitar ou diminuir uma deterioração ambiental ou ainda, para não incorrer em erros de outros projetos.

Os modelos preditivos, também podem resolver a falta de dados quantitativos que descrevem as respostas comportamentais às estradas, examinando as implicações de uma série de resultados plausíveis. Não obstante ao fato destes modelos serem apreciados para uso no planejamento territorial, há ainda poucas avaliações baseadas em simulação (BARBOSA et al., 2020) para aplicações no planejamento de transporte. Além disso, torna-se possível, explorar e quantificar os potenciais relações entre a construção de infraestrutura de transporte de cargas e os fatores socioeconômicos finais, e que podem servir para obter estimativas de expansão futura da infraestrutura (MEIJER et al., 2018), além de estimar e abordar impactos positivos ou negativos de um ou mais projetos de infraestrutura, antes e durante o seu desenvolvimento (THORNE et al., 2006).

## **2.6 - Modelagem e Simulação**

Um sistema é um conjunto de entidades relacionadas que interagem entre si com a finalidade de atingir um determinado propósito (WINSTON, 1993). Um modelo é a representação simplificada de um sistema, portanto, deve conter detalhes suficientes para que possa ser utilizado como uma representação válida (BANKS et al., 1996). Para PRITSKER (1998), é fundamental considerar os limites do modelo que representa o sistema.

Um estudo de simulação requer conhecimentos em diversas disciplinas, entre elas a pesquisa operacional, ciência da computação e estatística, importante conhecer, também, meio ambiente e comportamento social, dependendo do evento a ser modelado. O modelo deve ser complexo o suficiente para atender e responder às questões levantadas, mas não complexo demais. Para RIVETT (1980), a compreensão de um sistema e a identificação de seus elementos, entidades e relacionamentos, dependem do conhecimento, da experiência e da habilidade da pessoa que desenvolve o modelo. Segundo BALCI (1998), uma simulação aceita e utilizada por planejadores e tomadores de decisão, é um estudo considerado bem-sucedido.

O uso de modelos de simulação, ou apenas simulação, é uma metodologia de resolução de problemas do mundo real. É usada para descrever e analisar o

comportamento de um sistema, proceder alterações auxiliando no planejamento e projeto de sistemas que representem eventos do mundo real (PRITSKER, 1998). Além disto, a simulação, ainda, promove uma melhor compreensão sobre os sistemas, facilitando a comunicação entre planejadores ou tomadores de decisão (CHWIF et al., 2015). É indicada quando há a necessidade de avaliar alterações em parte de um sistema real (FREITAS, 2008). O uso de modelos de simulação melhora a capacidade de diagnóstico do problema, uma vez que as interações entre as variáveis e o comportamento do sistema, podem ser analisados (SOKILOWSKI e BANKS, 2009). A avaliação de diferentes possibilidades, ou cenários, sem interferir no sistema real, possibilita a avaliação ex-ante das interferências em um sistema dando suporte ao planejamento e análise de possíveis impactos, aumentando as possibilidades de investimentos direcionados à solução do problema (PEDREIRA JUNIOR, NASCIMENTO, 2015).

A simulação de eventos discretos surge de processos de contagem. Exemplos como número de clientes por hora, o número de ferramentas usadas em um dia de trabalho e assim por diante. Os dados contínuos surgem da medição (tempo, distância, peso, custo, etc.) (BANKS, 1998). Contudo, na prática, poucos sistemas são totalmente discretos ou totalmente contínuos, sendo comum, durante a modelagem, considerar a dinâmica da ocorrência dos eventos no sistema (GORDON, 1978; LAW e KELTON 1991, BORSHCHEV e FILIPPOV, 2004). Além de representar a satisfatoriamente o sistema em estudo, uma simulação deve repetir, em um ambiente computacional, o mesmo comportamento que o sistema apresentaria no mundo real. Para tanto, um processo de validação se faz necessário, identificando se os resultados e as interações entre as entidades correspondem com a lógica esperada de funcionamento (PEDREIRA JUNIOR, NASCIMENTO, 2015; ORTÚZAR, WILLUMSEN, 2001). A validação comprova que o modelo tem comportamento satisfatório e consistente com os objetivos, dentro dos limites propostos (BALCI, 1998). Novaes (1986) classifica os modelos de transportes em três categorias principais:

- Modelos convencionais empíricos: são os modelos tradicionais em Transportes, chamados de "modelos de quatro etapas" ou MUT (Modelo de Uso do Solo e Transportes). Constituídos geralmente por quatro submodelos

aplicados sequencialmente: geração de viagens (atração e produção), distribuição, divisão modal e alocação dos fluxos à rede de transportes, conhecido como Urban Transportation Planning System (UTPS).

- Modelos comportamentais: trabalham com fatores motivacionais dos usuários em relação aos atributos dos sistemas de transporte. Vão além do aspecto descritivo-normativo dos modelos anteriores e procuram saber o processo de decisão do usuário de transporte.
- Modelos atitudinais: procuram captar as reações dos usuários não compreendidas pelos modelos anteriores. Partem da suposição que as atitudes concretas dos indivíduos nem sempre traduzem corretamente os seus comportamentos, ou seja, ocorre a interferência de inúmeros e complexos fatores subjetivos ligados à percepção ou aspectos culturais, psicológicos, hábitos consolidados, etc.

O Planejamento de Transportes tem utilizado modelos tradicionalmente caracterizados por serem caros, complexos, inflexíveis e dependentes de suposições restritivas (ATKINS, 1986). Modelos de transporte de carga não têm se desenvolvido ou mesmo evoluído no mesmo ritmo daqueles de transporte de passageiros (HENSHER e FIGLIOZZI, 2007), por isto mesmo, o transporte de carga tem utilizado modelos herdados do transporte de passageiros (TAPIA, 2020). Os estudos têm adaptado os modelos de escolha discreta para o contexto de carga (CHOW et al., 2010; DANIELIS e MARCUCCI, 2007; DE JONG et al., 2013; RICH et al., 2009; VELLAY e DE JONG, 2003).

A definição de rotas, é um desdobramento do fluxo de processos. Roteamentos simples resultam de fluxos bem definidos. Por outro lado, quando há uma variedade maior de possibilidades, neste caso caminhos, faz-se necessário que alguma lógica ou regra com o objetivo de avaliar um atributo ou probabilidade para a tomada de decisão (SAKURADA e MIUYAKE, 2009). O roteamento de veículos tem sido estudado e analisado por especialistas da área de transportes e de pesquisa operacional. Por meio de modelos de simulação e otimização, e de uma base de dados apropriada (rede representando o sistema viário), é possível resolver



problemas de roteamento e programação de veículos para atender a determinado objetivo, como o de cargas a serem coletadas ou distribuídas (MOURA, 2001).

No que tange ao cálculo de rotas, é importante frisar que o problema do caminho mais curto constitui o maior grupo na área de pesquisa operacional e é considerado como um dos mais importantes da programação linear (Hillier e Lieberman, 1988), sendo considerado como uma importante área de pesquisa devido à grande quantidade de aplicações práticas (Glover et al., 1985). As mais comuns estão relacionadas com a otimização de: programação de rotas de transportes urbano ou de carga, linhas de transmissão elétrica, conexão de redes, planejamento de movimentos de um robô e outras mais complexas como no campo de biologia molecular, (Eppstein, 1994). Considere que o modelo não é capaz de prever eventos como trânsito ou preferência por uma rota pré-definida. O algoritmo de Edsger Dijkstra, criado em 1956 e publicado em 1959 calcula o caminho de custo mínimo entre vértices de um grafo, continua sendo amplamente utilizado e adaptado. O algoritmo soluciona o problema do caminho mais curto num grafo dirigido ou não dirigido, desde que os pesos dos arcos de ligação tenham valores positivos. Escolhido um vértice como raiz da busca, este algoritmo calcula o custo mínimo deste vértice para todos os demais vértices do grafo. Ele é bastante simples e com um bom nível de performance (Méndez e Guardia, 2008).

Contudo, o grande desafio para a modelagem de transporte de carga está relacionado com a disponibilidade e a qualidade dos dados. A obtenção de dados desagregados da informação (BROOKS e TRIFTS, 2008; RASHIDI e ROORDA, 2018) além da falta de base de dados espaciais da infraestrutura de transporte, confiáveis e com atributos adequados e oficiais, dificultam tanto o planejamento quanto o estudo, pesquisa e o desenvolvimento de modelos mais eficientes. Isto provoca o uso de modelos com dados agregados, limitando sua interpretação (ELLISON et al., 2017; POURABDOLLAHI et al., 2013). A base de dados espaciais, da infraestrutura de transporte, que são disponibilizados por órgãos oficiais em diversos endereços eletrônicos, divergem entre si além da inadequada qualidade. Estudos elaborados por agencias oficiais, aparentemente, não usam os dados que elas mesmas produzem no planejamento.

A base de dados geográficos é o principal conjunto de entrada, processamento e saída de informações espaciais e tabulares, que fornecem subsídios para o sistema recuperar e transformar dados em informações de roteamento (BURROUGH, 1989). Uma base de dados espaciais simples, estruturada, definida, conectada e documentada possibilita aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e banco de dados inúmeras aplicações (NAZÁRIO et al.,2000).

Por vezes, nota-se que o clássico entendimento sobre modelagem de dados geográficos (OLIVÉ, 2007; BONHAM-CARTER, 2006; CHRISTOFOLETTI, 1999; GOODCHILD, 1992) se faz ausente nos trabalhos acadêmicos, sobretudo o entendimento em alto nível do problema, seus atores, processos e sua condicionantes. Contrapondo a essa tendência, a descrição do processo de modelagem aqui adotado envolve as seguintes descritas abaixo no intuito de fomentar e documentar a perspectiva holística da modelagem nas diferentes aplicações em transporte reportadas nos capítulos 3 e 4. São elas:

- modelagem conceitual, trata-se do processo primário de entendimento e organização das ideias, e é desenvolvido para envolver o cliente, o problema e a solução estratégica em uma linguagem de alto nível para facilitar a discussão do negócio em si e não da tecnologia;
- modelagem lógica, processo secundário baseado na adaptação da visão sistêmica sintetizada e premissas consideradas no modelo conceitual para uma perspectiva analítica para inventariar e estruturar a arquitetura lógica da solução;
- modelagem física, processo terciário, referente à tradução do modelo lógico para uma sequência de processos computacionais.

### 3 - ESTUDO DE VIABILIDADE EM PROJETOS *GREENFIELD*

Projetos de infraestrutura de transporte, em especial os projetos de segmentos rodoviários e ferroviários requerem intensos estudos de viabilidade para assegurar o investimento e conhecer os custos, os benefícios e os riscos neles envolvidos. O planejamento do projeto deve garantir que os recursos empregados, principalmente os recursos públicos advindos do Município, Estado ou União sejam devidamente empregados, e que apresentem viabilidade e sustentabilidade econômica, técnica, social e ambiental tanto da infraestrutura a ser construída quanto da região servida pela via (NOBREGA et al., 2016). Outra consideração relevante é o acesso a um conjunto de dados referentes aos projetos, incluindo aqueles referentes à área impactada direta e indiretamente pelo mesmo, sendo esses dados de fundamental importância para a análise e controle dos processos que tais projetos desencadearão. A omissão ou negligenciamento de dados e informações vitais a um projeto tem causado enormes prejuízos aos cofres públicos por atrasos nos processos ou "remediações jurídicas"<sup>4</sup>.

A modelagem geográfica para estudos de corredores de viabilidade, introduzida por Nobrega et al., (2009) vem, aos poucos, ganhando projeção em aplicações práticas e investigações acadêmicas. Em linhas gerais, sua metodologia é apoiada na combinação de análise multicritérios e álgebra de mapas em níveis hierárquicos, devidamente moldados ao propósito do problema. Contudo, notou-se a necessidade de “envolpar” o conjunto de processos em um ambiente integrado e livre, que permita a automatização e fácil replicação do modelo.

Por último, cabe ressaltar que o modelo desenvolvido para automatização e corredores de viabilidade aqui apresentado foi adaptado e aplicado para estudos prévios de transmissão de energia elétrica em agosto de 2022 pela Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA-DF.

---

<sup>4</sup> Termo apresentado pelo Procurador da República Antônio Fonseca, no que se refere à atuação do Ministério Público Federal perante a paralisação ou atraso de obras de infraestrutura viária por incompatibilidade técnica e orçamentária. A fala ocorreu durante o II Encontro Regional da 3ª Câmara de Revisão do MPF, no dia 17 de outubro de 2013 em Florianópolis SC.

### 3.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo

O propósito do modelo é produzir mapas e métricas de alternativas de corredores de viabilidade para diferentes cenários para apoiar a fase preliminar de estudo de viabilidade na proposição de infraestruturas lineares. Parte-se do princípio que a solução utilize bases de dados públicos e oficiais na alimentação do modelo, e que o mesmo entregue mapas, gráficos e estatísticas objetivos com agilidade e clareza para apoiar a análise prévia do empreendimento.

O problema a ser solucionado é encontrar os potenciais caminhos de menor esforço<sup>5</sup> entre duas ou mais localidades a serem conectadas por uma infraestrutura linear de engenharia em um projeto *greenfield*. Para a apresentação do modelo, tomou-se por base a proposição de alternativas de extensão da Ferrovia Bioceânica interligando Rio Branco, Acre ao oceano pacífico. Cabe ressaltar que o detalhamento sobre o propósito do estudo e a discussão sobre resultados obtidos não são parte do escopo desta tese, mas sim do artigo dela derivado. A contextualização do estudo visa tornar o modelo figurado e não abstrato.

### 3.2 Modelagem Conceitual

Como etapa inicial do processo, a modelagem conceitual busca estabelecer o entendimento sistêmico da solução para atendimento ao problema que levou à demanda. O problema a ser abordado requer uma solução capaz de reunir perspectivas distintas, e em alguns casos antagônicas, de considerações técnicas sobre os prós e contras da construção da infraestrutura, sua espacialização e a projeção e cenários a partir de ponderações dos diferentes atores envolvidos no processo. Em linhas gerais, o modelo conceitual pode ser simplificado pelos seguintes passos:

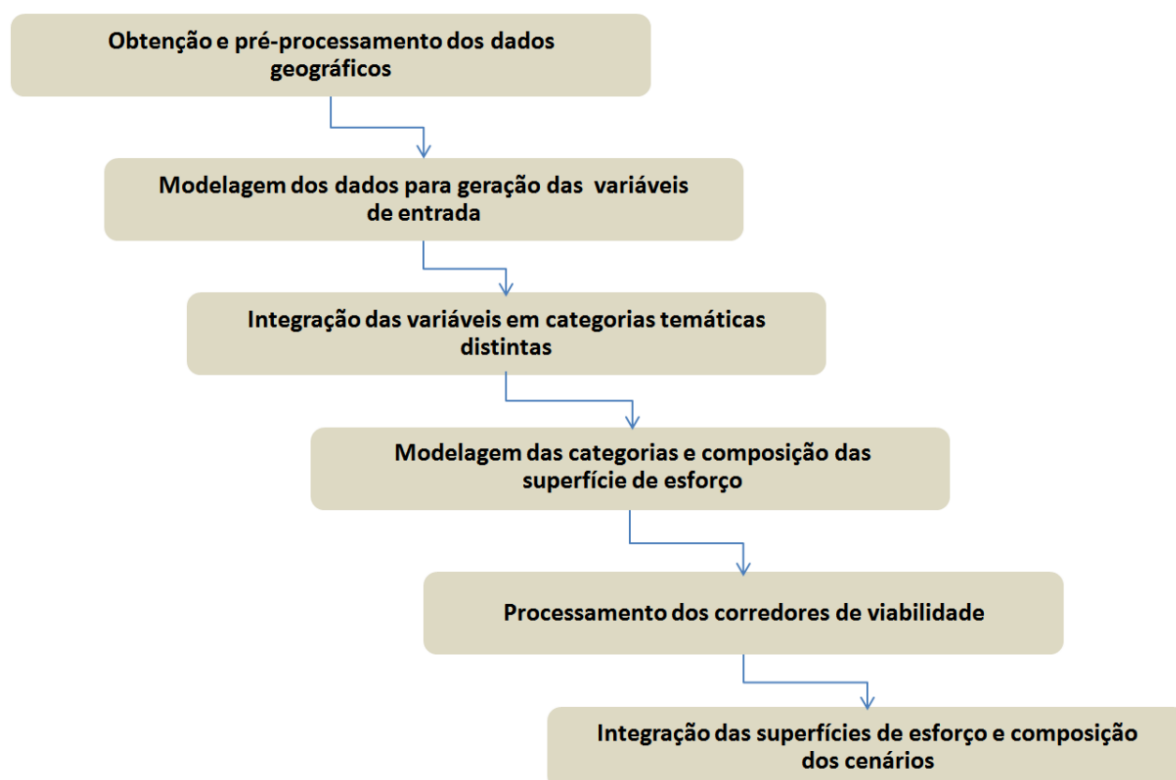
- Entendimento das perspectivas e opiniões dos diferentes atores;
- Elaboração das regras de decisão;
- Identificação dos dados e espacialização das regras de decisão;
- Elaboração dos cenários;

---

<sup>5</sup> Também entendido como menor impacto ambiental, menor custo de implantação

- Ponderação e combinação dos mapas;
- Espacialização e tabulação dos resultados por cenário

É importante esclarecer que, diferente de uma solução paliativa típica de geoprocessamento onde o problema é rapidamente solucionado com o emprego de uma ou mais ferramentas, a modelagem requer a construção de uma solução robusta, desenvolvida para ser definitiva ou a melhor possível. A modelagem conceitual de uma solução para mapeamento e quantificação de corredores de viabilidade foi apresentada em Nóbrega et al. 2016, e envolve o relacionamento entre as diversas entidades e processos em linguagem de comunicação de alto nível, conforme ilustra a Figura 15.



**Figura 15:** Diagrama geral de entidades e relacionamento da modelagem conceitual das etapas do modelo de inteligência geográfica para processamento de corredores de transportes (Adaptado de Nóbrega *et al.*, 2016).

A modelagem de corredores de viabilidade deve ter como essência um mecanismo que reúna a capacidade de congregar diferentes perspectivas e opiniões para promover a inclusão interdisciplinar o debate transversal necessários ao planejamento de transportes. Não apenas isso, deve também estabelecer protocolos de organização e de transparência dos dados e dos processos para o suporte a tomada de decisão.

### **3.3 - Modelagem Lógica**

#### **3.3.1 Aspectos Gerais**

Uma vez definido o modelo conceitual, é no modelo lógico que são detalhadas as entidades, os processos e os respectivos fluxos de relacionamento de forma lógica e integrada. É neste momento que devem ser considerados aspectos lógicos referentes aos processos de alimentação, arquitetura de processamento e armazenamento, bem como dos padrões de entrega dos produtos, ainda assim em uma linguagem intermediária, ainda sem o compromisso da implementação de códigos ou seleção da ferramenta específica para cada processo. Contudo, a modelagem lógica deve estabelecer as soluções empíricas e os padrões que deverão ser transcritos posteriormente para o ambiente computacional.

A solução lógica viável para congregar *inputs* de diferentes áreas de interesse e de diferentes atores recorre ao processo analítico hierárquico -AHP- (SAATI, 2008), a qual pode ser combinada com recursos de espacialização como descrito por Sadavivuni et al. (2009), e também ao método Delphi (PIRA et al., 2017) no apoio ao processo de decisão em planejamento de transportes. No tocante à organização e transparência nos dados e nos processos, a solução cumpre com os requisitos levantados pelo Secretaria de Infraestruturas de Portos e Ferrovias do Tribunal de Contas da União (BERBERIAN et al.2016).

O modelo proposto integra simultaneamente  $N$  variáveis diversas e pertencentes a  $M$  categorias distintas, tais como declividade do terreno, produto interno bruto agrícola e industrial, densidade viária e atratividade intermodal, presença ou proximidade de hidrografia, áreas de proteção ambiental, entre outras. A solução é composta pelo agrupamento das variáveis macro, como estudos mercadológicos para definir polos

de atração da ferrovia, estudos ambientais, responsáveis para a determinação das áreas impeditivas e restrições ambientais definidas por lei e que serão impostas ao projeto, bem como estudos biofísicos. O processamento dos dados é multiescalar e realizado em ordem hierárquica, conforme ilustra a Figura 16.



**Figura 16:** Arquitetura dos agrupamentos de variáveis e do processo hierárquico de apoio a tomada de decisão para corredores ferroviários similar ao implementado no modelo. Fonte: Nobrega (2020).

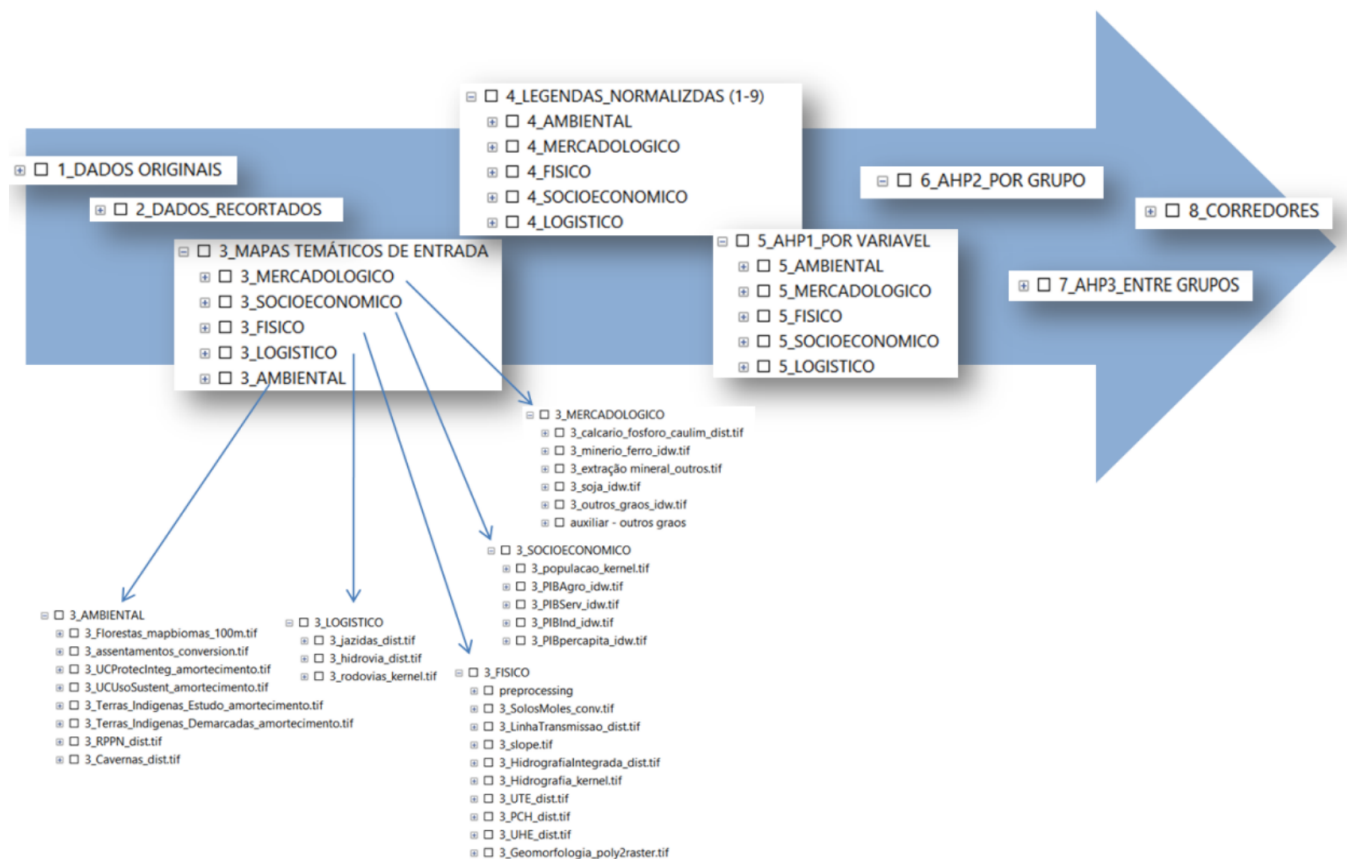
É importante ressaltar que a definição das variáveis e dos grupos irá sempre depender do propósito do estudo, sendo papel do modelador orientar os gestores e *stakeholders* sobre a inclusão dos atores necessários ao processo, bem como a forma de participação desses atores no apoio às diversas interpretações do problema para alimentação do modelo. Embora ainda com lacunas a serem preenchidas, a literatura já conta com diversos trabalhos capazes de subsidiar o entendimento do problema e a elaboração de regras de decisão, sobretudo nas áreas de ecologia e construção. O mesmo ocorre com as legislações ambientais, patrimoniais e de proteção aos povos indígenas. Contudo, a participação dos atores envolvidos, sobretudo nas respostas às

consultas é fundamental para a formulação dos pesos e dos cenários a serem avaliados.

A arquitetura hierárquica do modelo impede que variáveis de escopos distintos, como por exemplo, declividade do terreno (de caráter físico) e produtividade agrícola (de caráter mercadológico) sejam comparadas diretamente, evitando assim eventual viés pela atribuição de pesos inconsistentes a variáveis de interesse de um determinado grupo de especialistas. A justificativa para a estruturação das variáveis em grupos foi observada na prática como uma forma de prevenir que especialistas em um determinado setor emitissem opiniões, durante as consultas para formulação de pesos que também são *inputs* do modelo.

Contudo, esse agrupamento tem como finalidade apenas a organização das consultas aos especialistas, sendo que a configuração sobre a quantidade de grupos ou mesmo a especificidade dos grupos depende do propósito da aplicação do modelo. Por exemplo, em estudos de corredores de viabilidade para rodovias periurbanas, o grupo Mercadológico passa a não fazer sentido, e surge a necessidade de outros grupos, como por exemplo Segurança Viária, que pode incluir variáveis relacionadas a risco de atropelamento e colisão de veículo, por exemplo. Cabe ressaltar que as etapas do modelo, bem como todos os arquivos derivados dos processamentos nestas etapas, têm seus respectivos nomes precedidos pelo número sequencial, facilitando a organização e a rastreabilidade da execução dos procedimentos (Figura 17).





**Figura 17:** Arquitetura do modelo aplicado a corredores de viabilidade para implantação de ferrovias contemplando a organização categórica e sequencial dos dados. Fonte: Nóbrega et al. (2016).

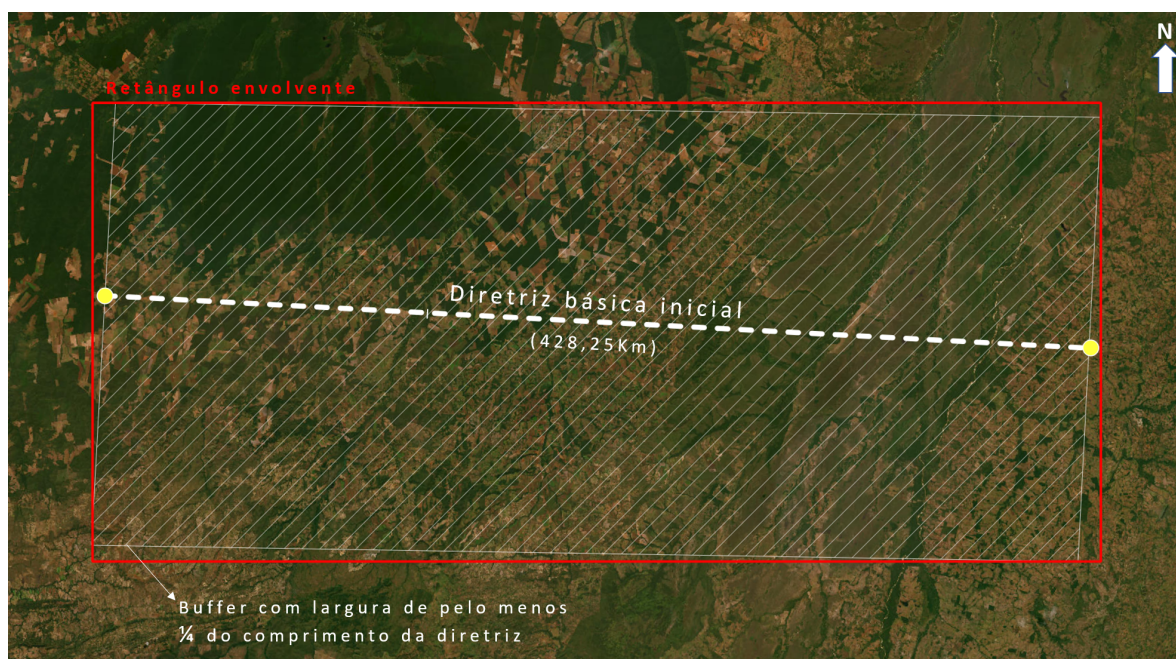
### 3.3.2 - Parametrização Cartográfica

Por fim, um ponto importante a ser destacado na modelagem lógica de dados geográficos é o entendimento espacial do fenômeno no que tange à escolha da projeção cartográfica adequada para sua representação e medição. O presente estudo, por abranger todo o território continental brasileiro, e pela necessidade de operar com unidades lineares de medida e não angulares como latitude e longitude, requer que os dados estejam cartograficamente projetados e consistentes.

Por se tratar de aplicação em transporte, seria natural optar por uma projeção com propriedade equidistante, contudo a atividade fim não é o cálculo de rotas e medidas sobre as vias, mas sim o cálculo das macrobacias e medidas em áreas, o que justifica o emprego de uma projeção equivalente. Foi então utilizada como referência espacial a projeção cartográfica *South America Albers Equal Area Conic*, por proporcionar uma

representação que minimiza a deformação das áreas e mantém paridade na proporção com a área real. Não obstante, modelo deve sugerir a adoção do Sistema de Referência Geodésico para a América do Sul (SIRGAS-2000), contudo o emprego de outra configuração é plenamente possível. Desta forma, todos os dados de entrada devem ser reprojatados para manter o padrão a integralidade do processo.

O modelo é passível de adaptação a diferentes áreas de estudo. A diretriz que interliga os pontos extremos, correspondentes ao início e fim do trecho a ser investigado, definem o alinhamento básico inicial. Independentemente de sua orientação, o alinhamento serve de base para a definição da área de estudo, em geral calculada a partir de uma operação de *buffer*, cuja largura em geral não ultrapassa um quarto do comprimento da diretriz básica. Contudo, em uma perspectiva conservadora, o modelo reserva 25% da extensão inicial como largura do *buffer*, criando uma sobre área para cálculo do retângulo envolvente (Figura 18). Essa operação garante a amplitude necessária para as análises do contexto geográfico envolvidas no processo.



**Figura 18:** Exemplo do processo de delimitação da área de estudo para operação do modelo, no caso aplicado ao estudo de viabilidade alternativos a BR-080 e BR242 que será exemplificado no capítulo 5.

### 3.3.3 - Procedimentos Lógicos

O tratamento dos dados para conversão em variáveis de entrada do modelo segue a diretriz apresentada por Sadasivuni et al. (2009), onde os valores dos *pixels* de cada camada de entrada são ponderados a partir do resultado da análise multicritérios, os quais podem ser calculados através de análises pareadas usando AHP ou por ranqueamento direto usando DELPHI. Definidos os agrupamentos e as variáveis, estas devem passar a ser trabalhadas em um processo hierárquico responsável pela atribuição de pesos/pontos. A ponderação das variáveis ocorre em 3 estágios:

- inicialmente os pesos são utilizados para modelar os dados brutos de entrada e convertê-los em variáveis matriciais no modelo;
- as variáveis, agrupadas por categoria, são ponderadas e combinadas entre si para gerar uma superfície integrada de esforço. Assim como no passo anterior, esse procedimento é desenvolvido com base na interpretação de valores e ponderações fornecidos por especialistas em cada área;
- uma vez definidas as superfícies integradas de esforço por categoria, estas são combinadas utilizando ponderações fornecidas por gestores e stakeholders do projeto. Diferentes combinações de pesos geram diferentes cenários.

Uma das etapas mais importantes da modelagem lógica é a consolidação das regras de decisão para que estas possam ser devidamente aplicadas às camadas de entrada do modelo. Em linhas gerais, a construção do modelo conceitual para corredores de viabilidade deve considerar, porém não se limitar a, um conjunto de regras como o exemplificado na Tabela 1. As informações completas sobre as regras desenvolvidas para a modelagem de corredores ferroviários encontram-se disponíveis no Anexo II.

**Tabela 1:** Exemplos da consolidação das regras durante a etapa de modelagem lógica de um corredor de viabilidade.

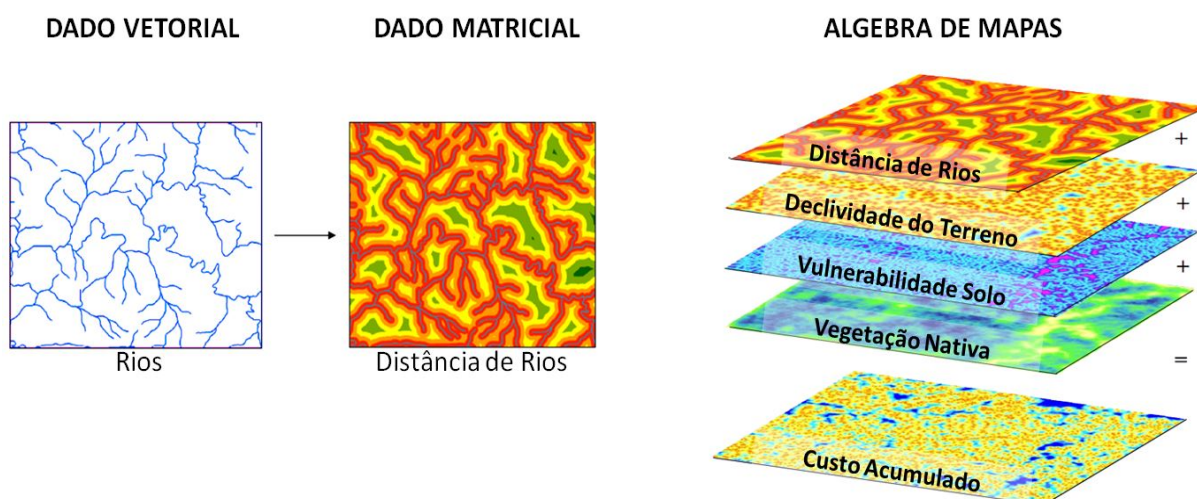
Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros
<b>Soja</b>	Centro de massa do município + Produção agrícola de Soja  ( <i>spatial join</i> de tabela e vetor)	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (soja). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.  Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	Mapa temático resultante da interpolação dividido em 9 classes (toneladas de grãos):  A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Estradas existentes</b>	Vetor das rodovias asfaltadas e estradas de terra existentes	Dar preferência para reutilização da via ou faixa de domínio	Peso mínimo para a rodovia existente e faixa de domínio, com outro peso de maior valor para demais áreas
<b>Terras Indígenas</b>	Polígono da área indígena demarcada + polígonos de afastamento	Restrição total a área demarcada.  Restrição muito alta ao entorno da área demarcada  Decaimento da restrição para distâncias superiores a 10km  Sem restrição para distâncias superiores a 40km	Mascaramento e remoção das áreas demarcadas do escopo da análise  Peso máximo para distâncias entre 0 e 10Km  Peso alto com decaimento para distâncias entre 10 e 40km  Peso mínimo para distâncias acima de 40km

A transição das regras deve ocorrer camada a camada, e em muitos casos, há a especificidade de regras dentro de uma mesma camada, como por exemplo os afastamentos legais previstos nas zonas de amortecimento das unidades de conservação de uso integral e terras indígenas. A Figura 19 exemplifica particularidades dos critérios logísticos a serem aplicados em estudos de rodovias.



**Figura 19:** Processo de integração dos mapas temáticos para composição da superfície de esforço, procedimento similar ao adotado ao integrar as variáveis de cada cenário no nível 1 e ao integrar os cenários no nível 2. Adaptado de Sadasivuni *et al.*, (2009).

Com relação à arquitetura dos dados, a estrutura proposta é modular. O modelo é proposto para operar com dados em formato matricial e tabular. Contudo, as operações de centrais do modelo são desenvolvidas em camadas matriciais, sendo este baseado em sucessivas operações de álgebra de mapas. Para tanto, os dados de entrada originalmente em formato vetorial como hidrografia, estradas existentes, pontos referentes a cavernas, monumentos históricos, etc. são interpretados e devidamente convertidos em *raster* (formato matricial). Embora uma tarefa trivial no geoprocessamento, muitas vezes essa conversão de formato deve ser acompanhada pela correta interpretação do uso do dado no modelo, o que a faz a primeira etapa no processo de modelagem, conforme ilustra a Figura 20.

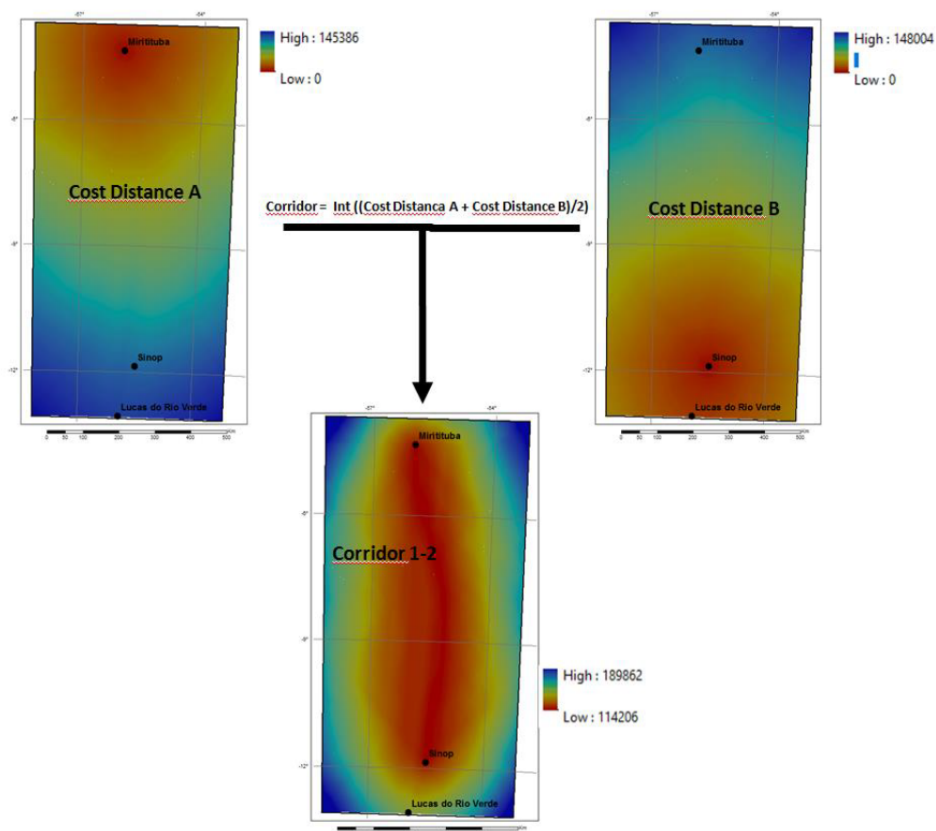


**Figura 20:** Exemplo da interpretação e conversão de formato de dados como primeira etapa no processo de modelagem geográfica e a respectiva combinação de variáveis na composição da superfície de esforço acumulado, também conhecida como superfície de custo ou de fricção.

Uma vez calculada a superfície de esforço acumulado, o passo seguinte é calcular as superfícies de afastamento dos pontos inicial e final. A superfície de afastamento utiliza o cálculo de distâncias euclidianas para todas as direções partindo do ponto base. As primeiras diretrizes para obtenção dos caminhos mais curtos entre dois pontos foram moldadas por topologia desenvolvidas apresentadas em 1959 por Dijkstra (MÉNDEZ e GUARDIA, 2008). Esse algoritmo tem sido utilizado nos SIG desde seu surgimento, incluindo uma implementação posterior baseada na conectividade de células para dados em formato matricial (CABRAL, 2008). Para o cálculo da superfície de esforço de afastamento utilizam-se os valores das células da superfície de esforço acumulado ponderadas pela distância da célula ao ponto de origem. A modelagem de corredores de viabilidade exige que sejam computadas as superfícies de afastamento de pelo menos dois pontos.

Por fim, o cálculo do corredor de menor esforço é dado pela simples integração das superfícies de esforço, processo que pode ser realizado, por exemplo, calculando os valores médios dos pixels. Dado o propósito da modelagem, denomina-se essa superfície resultante como corredor de viabilidade, conforme ilustra a Figura 21.





**Figura 21:** Representação do processo de cálculo do corredor de viabilidade a partir da integração de duas superfícies de afastamento. (NOBREGA, 2020).

É fundamental que o modelo contemple um mecanismo capaz de reproduzir diferentes cenários, estes gerados a partir de combinações de resultados de diferentes ponderações consideradas pelos *stakeholders* e tomadores de decisão para o qual o modelo se destina. Na prática, os cenários são estabelecidos pelos pesos atribuídos no segundo nível de hierarquia do processo AHP (vide Figuras 14 e 15 da seção 3.3.1), posto que as ponderações atribuídas às variáveis no primeiro nível hierárquicos devem ser fixas pois correspondem a parâmetros resultantes de consulta a especialistas ou a literatura técnica específica do assunto. Na prática, é usual elencar ponderações capazes de levar a diferentes cenários, como conservador, moderado e agressivo, na prática. Esses cenários ajudam a avaliar os possíveis resultados do projeto e a tomar decisões sobre o caminho a seguir. Ressalta-se aqui a intenção de incorporar de forma automática ao modelo a solução proposta por Biasotto et al. (2022), a qual cria uma ampla gama de ponderações de cunho ambiental e de

engenharia e estrategicamente chancela as convergências no desenho do corredor compilados por ponderações antagônicas, otimizando os esforços dos analistas para os trechos onde as ponderações antagônicas resultaram em corredores divergentes.

### 3.4 - Preparação dos dados e modelagem física

A primeira etapa de modelagem física envolve a análise dos dados necessários ao propósito. Não apenas a busca pelos dados, mas também a análise da qualidade temática, posicional e da completude desses dados. Assim, um passo importante é elencar todos os dados passíveis de uso no modelo, bem como suas fontes e demais características, semelhante ao apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Organização da base de dados

Dado	Escala	Fonte	Data	Tipo	Subconjunto
Áreas Urbanizadas	1:50000	ZEE-MG (2009)	2009	Vetor	Socioeconômico
População	1:500000	IBGE (2010)	2010	Tabela	
Assentamentos Rurais	1:10000	INCRA (2015)	2015	Vetor	
Patrimônio arqueológico - Distância	1:50000	IPHAN (2015)	2015	Tabela	
Patrimônio histórico, artísticos e cultural - Distância	1:50000	Prefeituras (2015)	2015	Tabela	
Rodovias - Densidade	1:10000	DNIT-GEO/Vetorização	2015	Vetor	Mercadológico e Suporte Logístico
Vias urbanas - Densidade	1:50000	Open Street Map	2015	Vetor	
Redes de Gás - Distância	1:10000	GASMIG	2015	Vetor	
Linhas de Transmissão - Distância	1:10000	CEMIG	2015	Vetor	
Recursos Minerais	1:1000000	Geodiversidade - CPRM	2010	Vetor	
Interesse Mineral	1:1000000	DNPM - SIGMINE	2015	Vetor	
Vegetação remanescente	1:150000	Landsat 8 - NDVI	2015	Raster	Biofísico
Nascentes - Distância das nascentes	1:1000000	IGAM	2014	Vetor	
Hidrografia - Densidade e distância da hidrografia	1:1000000	IGAM	2014	Vetor	
MDS - Modelo Digital de Terreno (Declividade)	1:10000	IGTEC	2009	Raster	
Vulnerabilidade a Erosão	1:1500000	ZEE-MG	2009	Vetor	
Risco de erosão - filito, cárstico e movimento de massa	1:1000000	Geodiversidade - CPRM	2010	Vetor	
Espelho D'Água	1:1000000	Vetorização	2015	Vetor	
Unidade de Conservação - Proteção Integral	1:50000	ZEE-MG	2009	Vetor	Restrições Ambientais
Unidade de Conservação - Uso Sustentável	1:50000	ZEE-MG	2009	Vetor	



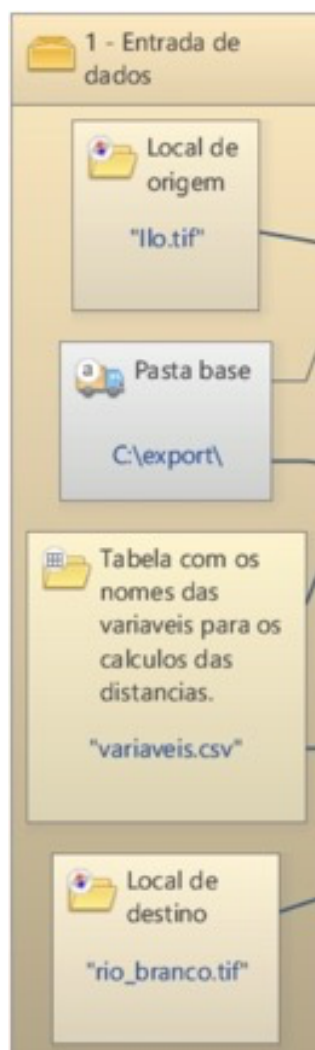
Cavernas - Distância	1:50000	SECAV	2015	Vetor	
----------------------	---------	-------	------	-------	--

O segundo passo para a modelagem física é “traduzir” todo o escopo da modelagem lógica em ambiente e ferramentas computacionais adequados ao objetivo proposto. Como dito anteriormente, o modelo integra, em sua maioria, ferramentas consagradas de geoprocessamento (Tabela 3).

**Tabela 3:** Ferramentas de geoprocessamento empregadas na modelagem de corredores de viabilidade

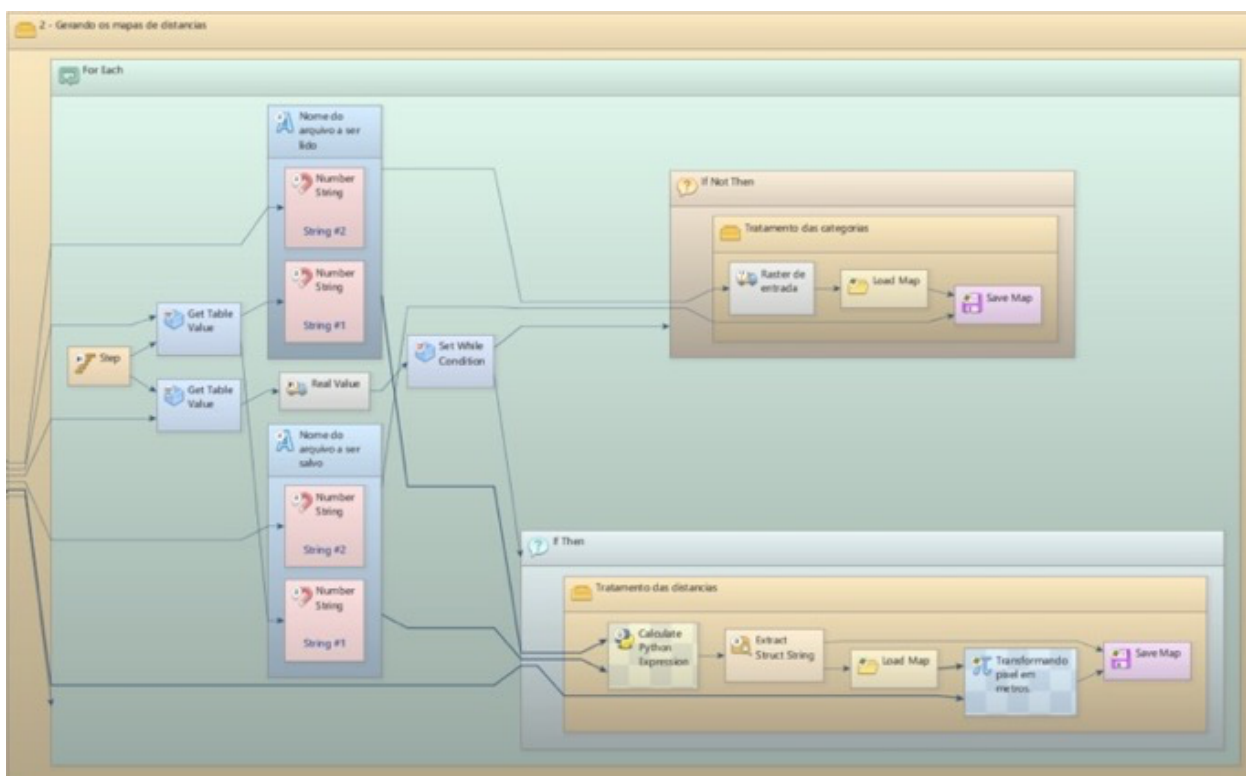
Ferramenta	Descrição
Projeção cartográfica	Permite conversão entre sistema de projeção cartográfica
Mosaico	Permite a junção espacial ou temporal de dados matriciais
Merge	Permite a junção espacial e dados vetoriais
<i>Join</i>	Permite alimentar camadas vetoriais com dados tabulares
Distância euclidiana	Permite calcular a distância em linha reta a partir de um ponto
Declividade	Permite cálculo da declividade do terreno
Recorte	Permite recortar dados vetoriais e matriciais para uma área específica
Reclassificação	Possibilita substituição de valores dos pixels por valores categorizados
Conversão	Conversão de dados entre formatos distintos ( <i>vetor-raster</i> )
Álgebra de mapas	Possibilita o desenvolvimento de operações matemáticas em camadas <i>raster</i>

Os passos seguintes resumem a implementação do modelo no Dinamica EGO. A leitura das variáveis de localização dos pontos de Origem e de Destino, além da tabela indicando as variáveis envolvidas na modelagem, são feitas no Grupo 1 (Figura 22). Para isto foram utilizados os funtores Load Categorical Map, Load Table e Folder. Neste grupo existe apenas a leitura de dados.



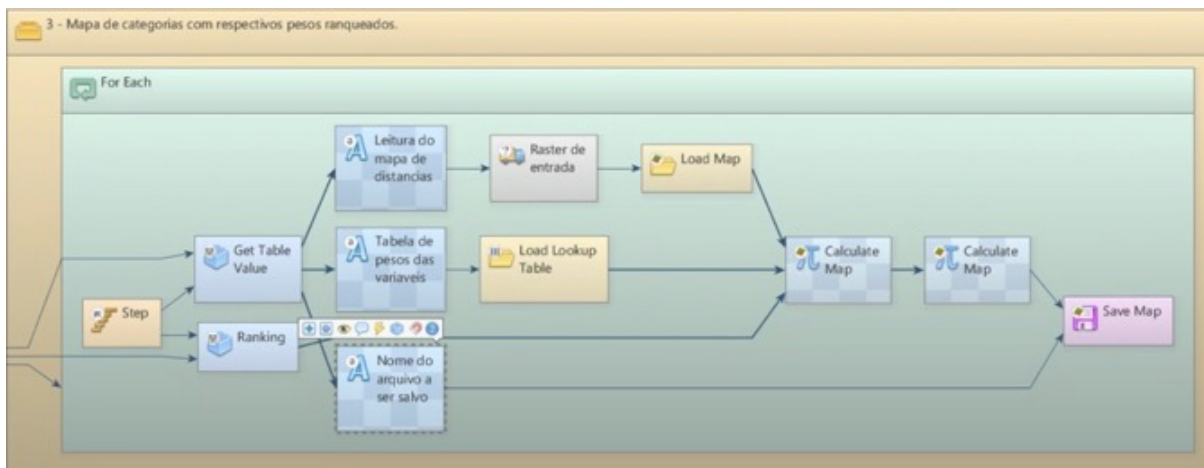
**Figura 22:** Grupo 1 – Entrada de dados

O Grupo 2 (Figura 23) é responsável pela leitura das variáveis envolvidas na modelagem e cálculo das distâncias e afastamento de cada feição utilizando distâncias euclidianas. Para isto foi utilizado rotina na linguagem Python.



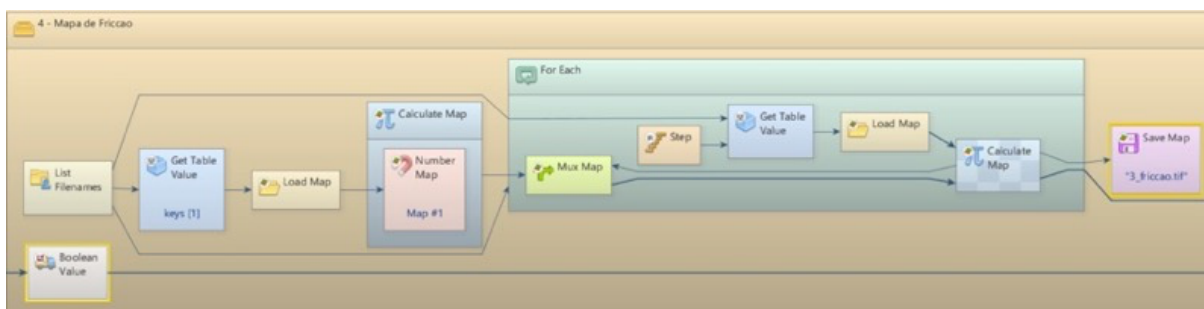
**Figura 23:** Grupo 2 – Cálculo dos mapas de distâncias.

No Grupo 3 (Figura 24), são gerados os mapas de pesos de acordo com a tabela de pesos de cada variável na tabela AHP lida no primeiro grupo. Isto é feito utilizando o funtor *Calculate Map*. Em seguida são removidos os valores iguais a zero (0), usando o funtor *Calculate Map*.



**Figura 24:** Grupo 3 – Cálculo dos mapas de peso - AHP

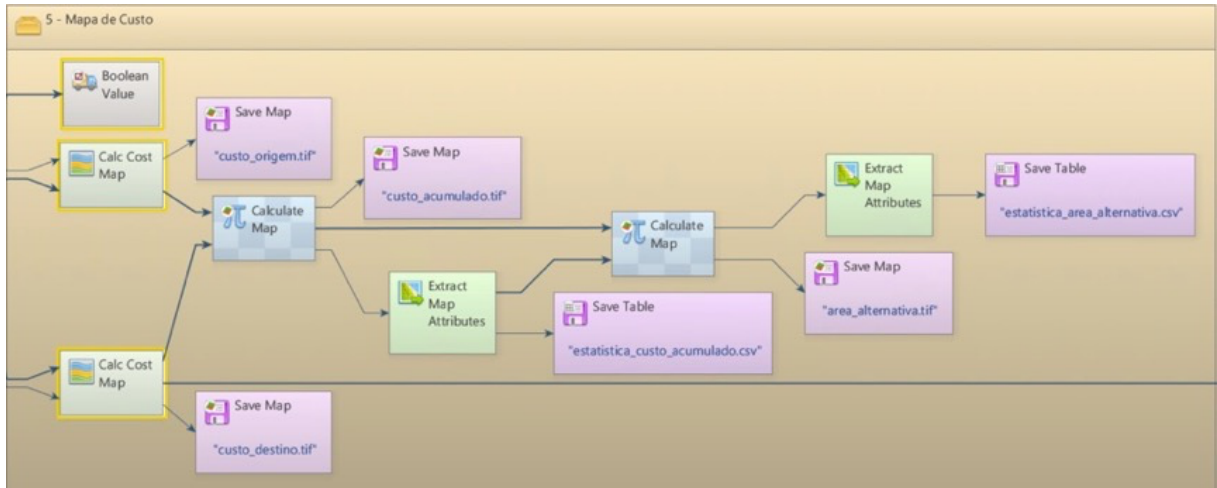
O Grupo 4 é responsável pelo cálculo do mapa de fricção. Este mapa é igual a soma dos mapas de pesos gerados no Grupo 2 (Figura 25). Neste resultado os maiores pesos são aqueles pelos quais os corredores não devem passar, como no caso de unidades de conservação e comunidades indígenas. Para este cálculo, foi usado um funtor *For Each* que representa um laço de repetição, que é executado para cada mapa gerado no Grupo 2, e a soma é calculada no funtor *Calculate Map*.



**Figura 25:** Grupo 4 – Cálculo do mapa de fricção

No Grupo 5 são calculados os mapas de Custo a Origem, Custo ao Destino, Custo Acumulado e Área Alternativa. Além disto é calculado o valor médio do custo acumulado usado para determinação da Área Alternativa (Figura 26). Foram utilizados os funtores *Calc Cost Map* para calcular os mapas de custo para a Origem

e Destino. Para cálculo da média dos valores, foi utilizado o funtor *Extract Map Attributes*.



**Figura 26:** Grupo 5 – Mapa de custos e Área Alternativa.

## 4 - ESTUDOS DE ROTAS E MACROBACIAS LOGÍSTICAS

Neste capítulo apresenta-se duas formas distintas de modelagem geográfica de dados de transportes para simulação de rotas e mapeamento das macrobacias logísticas de escoamento de graneis sólidos agrícolas no Brasil, a primeira recorrendo a arquitetura matricial e a segunda recorrendo a consagrada topologia de redes em arquitetura vetorial. Em ambas, são simulados os caminhos de menor custo entre a origem - municípios produtores sólidos agrícolas como soja e milho- e os portos de exportação recorrendo à integração multimodal. Uma vez calculadas e mapeadas as rotas de menor custo, calcula-se a área de influência de cada porto, aqui denominado de macrobacia logística para graneis sólidos agrícolas.

O primeiro estudo foi desenvolvido para simular a potencial redução de custos de transportes de soja ao comparar o sistema -infraestrutura viária, transbordo, rotas e frete- referente ao ano 2020 e sua projeção para o ano 2025 utilizando dados do PNL. O estudo resultou no artigo científico “*Geographical modeling for the simulation of soybean transport costs in logistic basins*” aceito para publicação na Revista Transportes.

O segundo estudo simulou a dinâmica das áreas de influência ou bacias logísticas dos portos e resultou na publicação do artigo “*Can the Brazilian National Logistics Plan Induce Port Competitiveness by Reshaping the Port Service Areas?*”, publicado na revista Sustainability em novembro de 2022. A modelagem permitiu também a elaboração de um segundo manuscrito (em construção) que trata dos potenciais impactos socioambientais do terminal de Embarque da Ferrogrão em Matupá-PA causados pela mudança no padrão do uso do solo em áreas distantes e não consideradas nos processos tradicionais de avaliação (capítulo 5)

### 4.1 - Modelagem rotas e macrobacias logísticas por autômato celular

Este tópico tem como objetivo apresentar o processo de modelagem geográfica adotado no estudo de rotas e macrobacias logísticas em arquitetura matricial. O detalhamento sobre o propósito do estudo e a discussão sobre resultados obtidos não é parte do escopo desta tese, mas sim do artigo dela derivado. Contudo, fez-se

necessário a contextualização do estudo para poder dar corpo às etapas do processo de modelagem geográfica tornando o seu entendimento figurado e não abstrato.

#### **4.1.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo**

O propósito do modelo é mapear as macrobacias logísticas de escoamento de grãos sólidos agrícolas para os portos considerando a situação atual da infraestrutura viária e a situação futura após a implantação das infraestruturas previstas para 2025. O problema a ser solucionado é encontrar as rotas de menor custo para fluir a produção agrícola do campo até os portos exportadores.

Trata-se de uma modelagem multi-origem, posto que as cargas são originadas de diversos pontos no país, e multi-destino, pois podem ter como fim diferentes portos. A modelagem é de natureza multi-modal uma vez que deve integrar as infraestruturas que ofereçam a melhor condição e fluidez e menor custo por segmento na composição do transporte entre a origem e o destino. Por último, e não menos importante, a modelagem é também multi-commodity, ou seja, é concebida para congrega diferentes produtos dentro de um universo específico de carga -granel sólido agrícola.

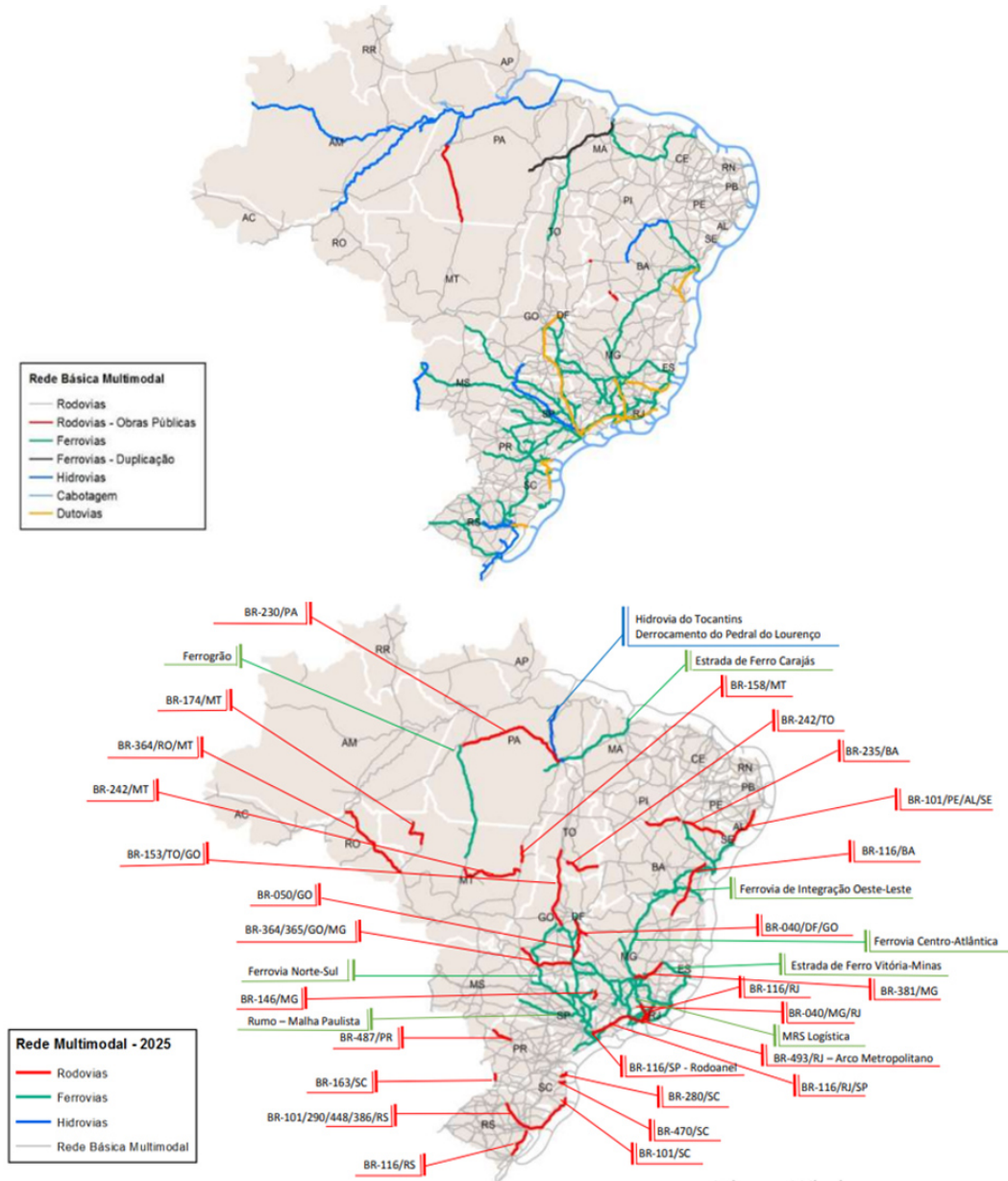
Embora os estudos de rota em geoprocessamento recorram a já consagrada topologia de redes, o presente estudo parte da premissa de que sua modelagem é também possível em arquitetura matricial (assunto abordado no segundo estudo).

#### **4.1.2 - Modelagem Conceitual**

Os cenários definidos neste estudo compreendem todo o território nacional brasileiro, considerando para as rotas de exportação da soja. As modelagens elaboradas são divididas em duas simulações principais:

- Cenário com a infraestrutura atual, referente a 2020: a rede georreferenciada é constituída pelo “Cenário Rede Básica” (Figura 27, superior), caracterizada pela rede com os elementos atuais das infraestruturas para os modos de transporte rodoviário, aquaviário (fluvial e marítimo) e ferroviário provenientes da EPL, acrescida das obras com previsão de conclusão até o ano de 2020;

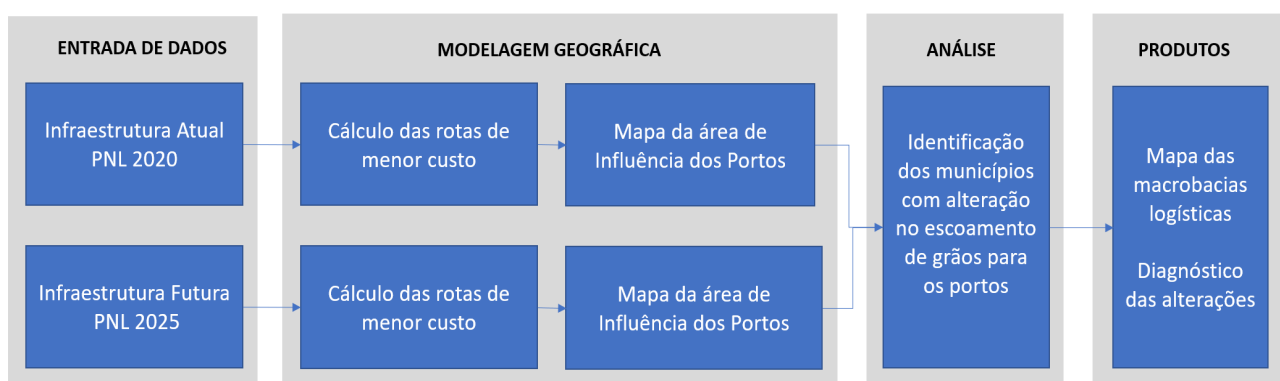
- Cenário com a infraestrutura do PNL 2025: o “Cenário PNL 2025” (Figura 27, inferior) considera os projetos de infraestrutura com estimativa de conclusão, e com início de operação até o ano de 2025.



**Figura 27:** Malha multimodal em operação no ano de 2020 (superior) e malha multimodal com as intervenções propostas no Plano Nacional de Logística para operação em 2025 (inferior) que foram utilizadas no modelo. Fonte: Empresa de Planejamento e Logística, 2018.



Para entendimento holístico do processo, a modelagem conceitual requer o entendimento das entidades e seus relacionamentos. É nesta etapa que se abre o primeiro canal técnico de diálogo entre o demandante do projeto e o modelador, ainda que a comunicação seja gerencial, onde são tratadas informações contratuais do processo, tempo e custo de execução e produtos finais. Embora aparentemente simples, a modelagem conceitual requer comunicação de alto nível e clareza em todos os aspectos, posto que corresponde à fase de concepção do projeto. A Figura 28 ilustra o diagrama de entidades e relacionamento da modelagem conceitual utilizada no presente estudo de caso. Cabe ressaltar que nesta etapa não é apresentada a forma com a qual a modelagem será computacionalmente implementada.



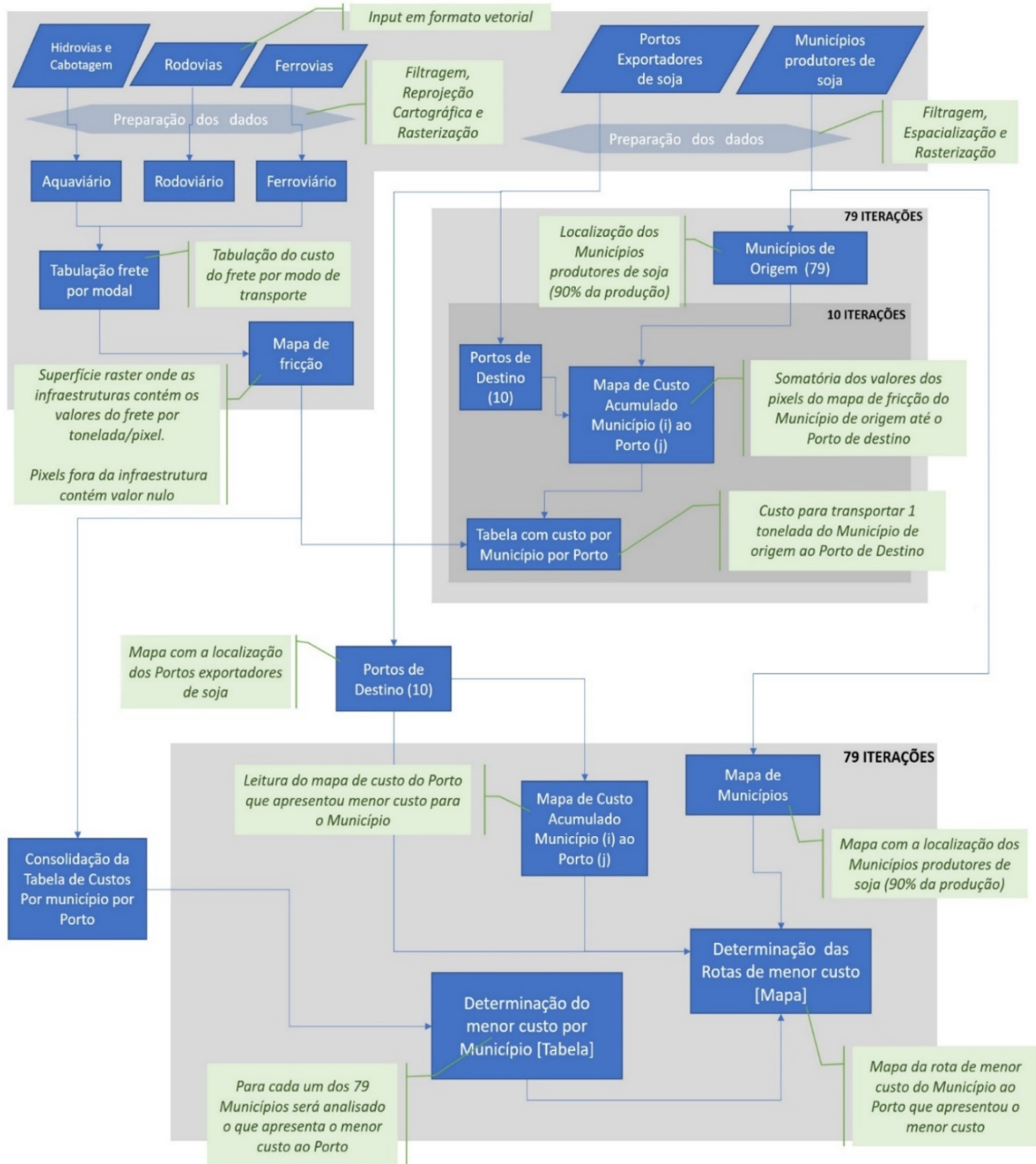
**Figura 28:** Diagrama de entidade e relacionamento para a modelagem conceitual do processo.

#### 4.1.3 - Modelagem Lógica

Nesta etapa o problema é trazido para um nível intermediário de entendimento, servindo como uma arena para discussão e escolha da arquitetura lógica das soluções a serem posteriormente implementadas no modelo. Questões como a disponibilidade, qualidade e limitações dos dados que alimentarão o modelo, e o nível de tratamento necessário para que os dados se tornem informações são pontos-chave para a estratégia a ser adotada.

A começar pelos dados, o volume e a extensão geográfica dos projetos de transporte potencializam a complexidade do processo de escolha dos dados de entrada nos processos de tomada de decisão (discussão apontada no Capítulo 2). Para o presente estudo foram propostos dois blocos de processos, sendo o primeiro organizacional,

referente à entrada dos dados e preparação das variáveis do modelo, o segundo analítico, referente ao cálculo da superfície de custo entre os pontos de origem e destino sobre a malha multimodal mapeamento das rotas e macrobacias logísticas. A Figura 29 ilustra o fluxograma comentado dos processos.



**Figura 29:** Fluxograma comentado da modelagem lógica. Fonte Medeiros et al. (no prelo).

As camadas de entrada do modelo devem integrar, além das malhas rodoviária, hidrovieira, ferroviária, portos e terminais de transbordo de carga, também os dados de operação de cargas nessa malha. Os modelos lógicos, em especial quando representam a lógica relacional de bancos de dados, são apoiados graficamente por um diagrama relacional que mapeia as conexões entre diferentes tabelas apontando as chaves e os tipos de relacionamento para posterior implementação no sistema gerenciados de banco de dados. Contudo, no presente estudo, a arquitetura matricial das camadas do modelo permite que o mapeamento lógico seja generalizado apenas apontando o relacionamento entre os processos.

Por fim, conforme explicado no capítulo anterior (Seção 3.2), foi adotada a projeção cartográfica cônica equivalente de Albers e o SIRGAS-2000 como referência.

#### **4.1.4 - Preparação dos dados e Modelagem Física**

Os mapas georreferenciados da infraestrutura logística brasileira (hidrovias, cabotagem, rodovias, ferrovias, portos e terminais de transbordo de carga) foram obtidos da base de dados da EPL (Empresa de Planejamento e Logística S.A.) e do Ministério da Infraestrutura tanto para o cenário de infraestrutura de 2020 quanto para o de 2025 já com as alterações previstas no PNL. A seleção dos municípios produtores de soja no ano de 2020 foi realizada utilizando a base de dados extraída da plataforma Comex Stat do sistema de dados do comércio exterior brasileiro, que armazena dados das exportações dos produtos através da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM). Em seguida foi utilizado um método de classificação (análise de Pareto ou curva ABC) para priorizar os principais produtores.

Do total de 342 municípios, foram inseridas no estudo a localização de 79, que representam 90,09% do total de municípios produtores de soja extraído da base do Comex Stat. A base desses municípios foi correlacionada com os códigos geográficos (geocódigos) das sedes dos municípios fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para os portos, as informações foram adquiridas da base de dados de exportação de soja em 2020 da plataforma Comex Stat. Foram enumerados os principais portos em volumes recebidos (toneladas) dos estados brasileiros e

selecionados aqueles que receberam carga total anual acima de 1 milhão de toneladas, considerando-se 10 portos.

Como suporte aos cálculos dos custos logísticos para as rotas pré-determinais e para cada modo de transporte foi utilizado o Simulador de Custo de Transporte elaborado pela EPL, obtendo o custo médio por quilômetro em reais/tonelada para a carga de soja e para cada modo de transporte. O simulador da EPL se trata de uma base oficial utilizada pelo governo brasileiro para os cálculos dos projetos de transporte agrícola, considerando na metodologia de cálculo os coeficientes dos pisos mínimos para o serviço de transporte de cargas de acordo com a publicação da tabela de frete regulamentada pela ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres (2022). A Tabela 4 mostra o resumo da seleção de dados quanto ao formato e fonte.

**Tabela 4:** Dados de entrada do modelo, formato e fonte. Fonte: Autores, 2021.

Variáveis de Entrada no Modelo	Formato	Fonte
Custo de Frete	Tabela	EPL
Modos de transporte ferroviário, rodoviário e hidroviário	Vetorial	EPL e MINFRA Infraestrutura
Terminais de transbordo	Vetorial	EPL
Portos Exportadores de Soja	Tabela e Vetorial	Comex Stat
Municípios Produtores de Soja	Tabela e Vetorial	Comex Stat

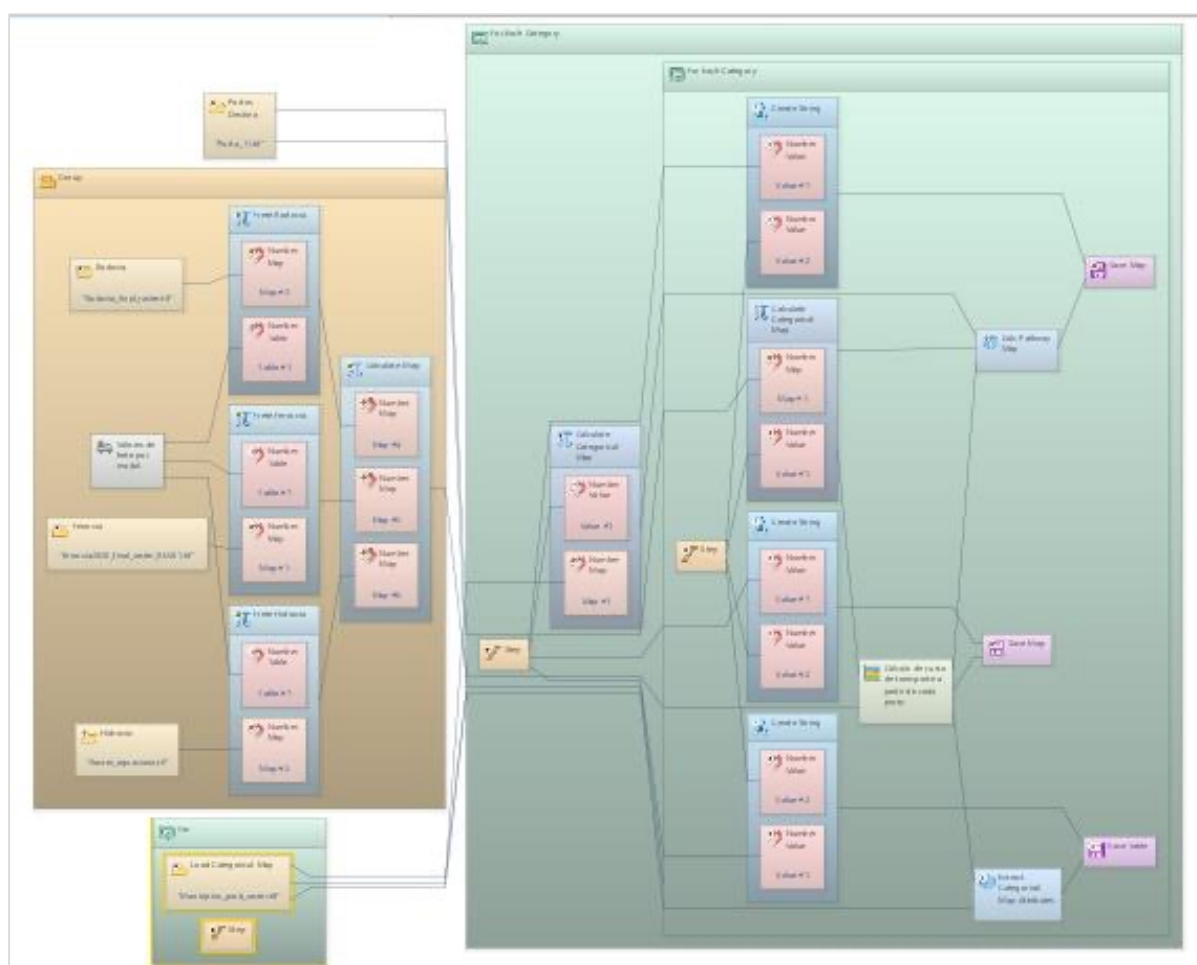
Os mapas vetoriais selecionados, incluindo os de representação pontual como portos e terminais de transbordo de carga, foram convertidos para formato raster, que é a representação por linhas (horizontais) e colunas (verticais) de *pixels* ou células, ou seja, matricial. O *pixel* representa uma região geográfica e o valor atribuído a ele estabelece um atributo dessa região. Foi utilizada a resolução espacial de 1.000 metros por *pixel*. A escolha dessa resolução espacial atende às representações dos modos de transporte utilizados (ferrovia, rodovia e hidrovia) tendo em vista a amplitude geográfica da área do projeto em nível nacional.

A opção por arquivos em formato *raster* se deu pela representatividade dos fenômenos com variação contínua no espaço, e pela compatibilização dos dados com a arquitetura matricial da plataforma de modelagem utilizada. Os cálculos realizados durante a etapa de análise espacial que antecedem a modelagem somente são possíveis de serem realizados com arquivos matriciais (álgebra de mapas).

Por fim, o processamento dos dados utilizou a plataforma livre Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) que apresenta uma arquitetura paralela de ponta usando um número fixo de *threads* (chamados *workers*) com divisão de tarefas para fornecer balanceamento de carga e aumentar a flexibilidade de como as tarefas paralelas podem ser executadas. Em teoria, todos os componentes do modelo podem ser executados em paralelo, desde que construído com esta característica. O Dinamica EGO possui como fundamento a modelagem de paisagem e se tem como premissa dados geoespaciais de entrada, incluindo séries temporais, resultando em mapas de paisagem e tabelas, para cada passo de tempo, incluindo os mapas das probabilidades de transição e das variáveis dinâmicas (Soares-Filho, 1998). Sua interface gráfica e modular de modelagem proporciona benefícios pela flexibilidade, simplicidade e rapidez na programação. Apesar de ser uma plataforma de modelagem ambiental, a ferramenta permite a construção de álgebra de mapas, incluindo a representação visual do modelo. Para a realização da modelagem, são definidas 5 etapas:

- Carregamento das variáveis de entrada (tabelas e mapas).
- Interface entre a tabela de custo de frete e os mapas de infraestrutura de transporte.
- Criação dos mapas de fricção com os custos de transporte a partir de cada porto.
- Criação dos mapas de rota considerando o menor custo do município ao porto de destino.
- Criação das regiões de influência de cada porto considerando as rotas mais baratas dos municípios avaliados.

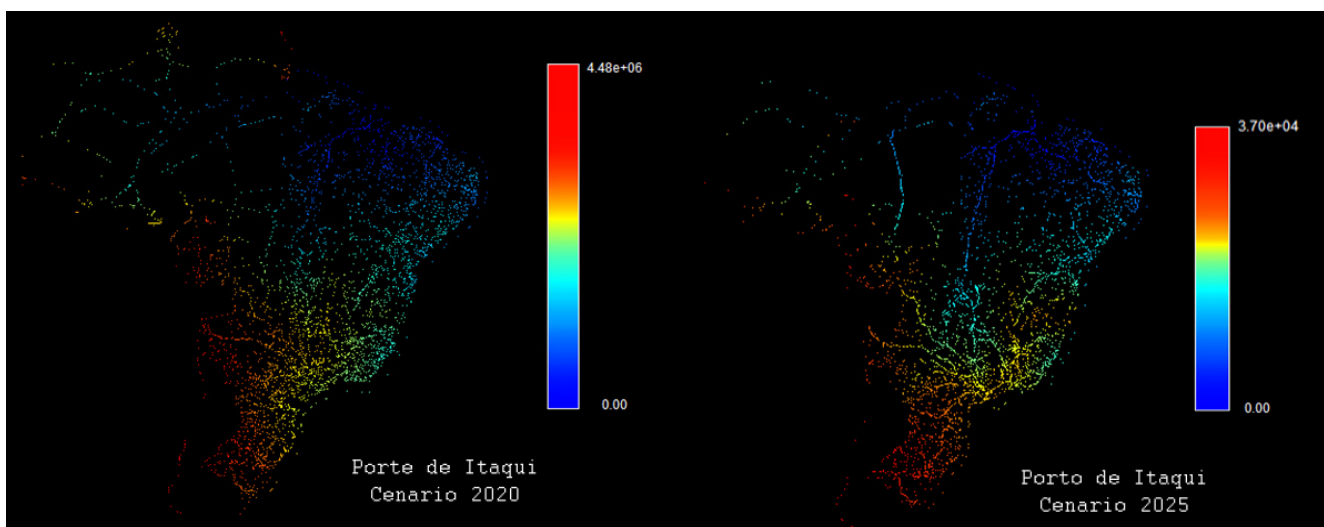
As cinco etapas estão organizadas em dois módulos, sendo que o primeiro contém os procedimentos para a leitura dos mapas de infraestrutura de transporte (ferroviário, rodoviário, hidroviário), do mapa das sedes dos municípios e dos portos e da tabela dos valores médios de frete da soja para cada modo de transporte. O segundo módulo contém os procedimentos de cálculo dos mapas de custo acumulado para cada porto de destino, dos mapas da melhor rota simulada de cada município ao porto de destino e criação das tabelas com os custos do município ao porto (Figura 30).



**Figura 30:** Modelo desenvolvido no Dinamica EGO para cálculo das rotas de menor curso e cálculo das macrobacias logísticas.

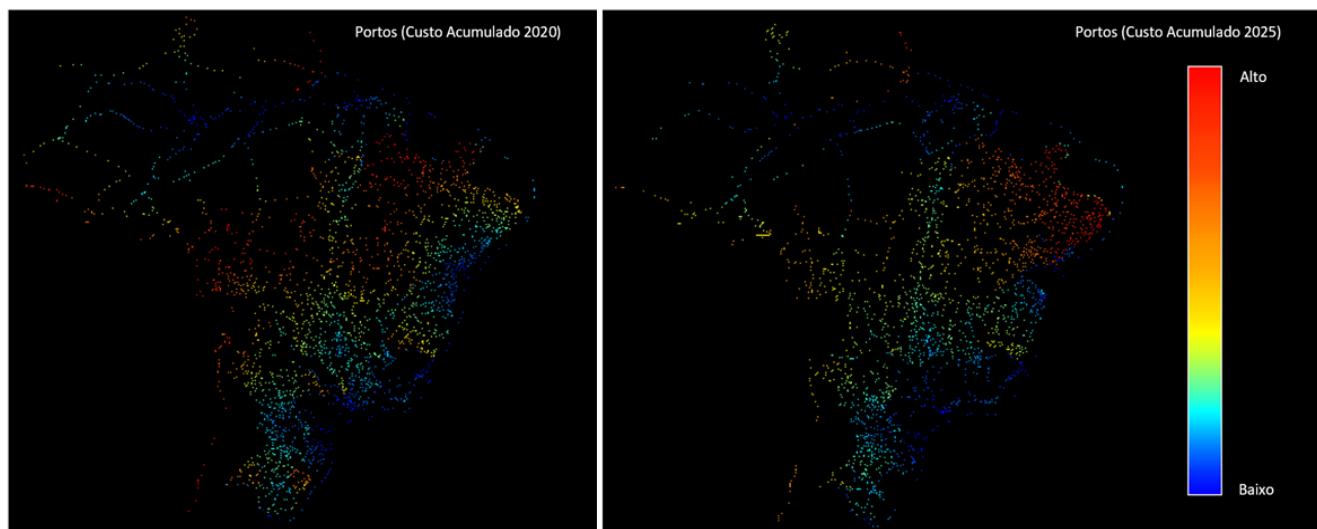
#### 4.1.5 - Resultados Modelo

O custo acumulado foi calculado pelo modelo considerando as infraestruturas logística disponível e projetada para a exportação da soja até o porto. Sendo assim, foi possível visualizar as regiões com impacto de baixo ou alto custo de transporte ao porto de destino. A Figura 31 exemplifica o resultado da superfície de custo acumulado de transporte para o Porto de Itaqui-MA.



**Figura 31:** Custo acumulado de transporte de soja calculado para o porto de Itaqui-MA.

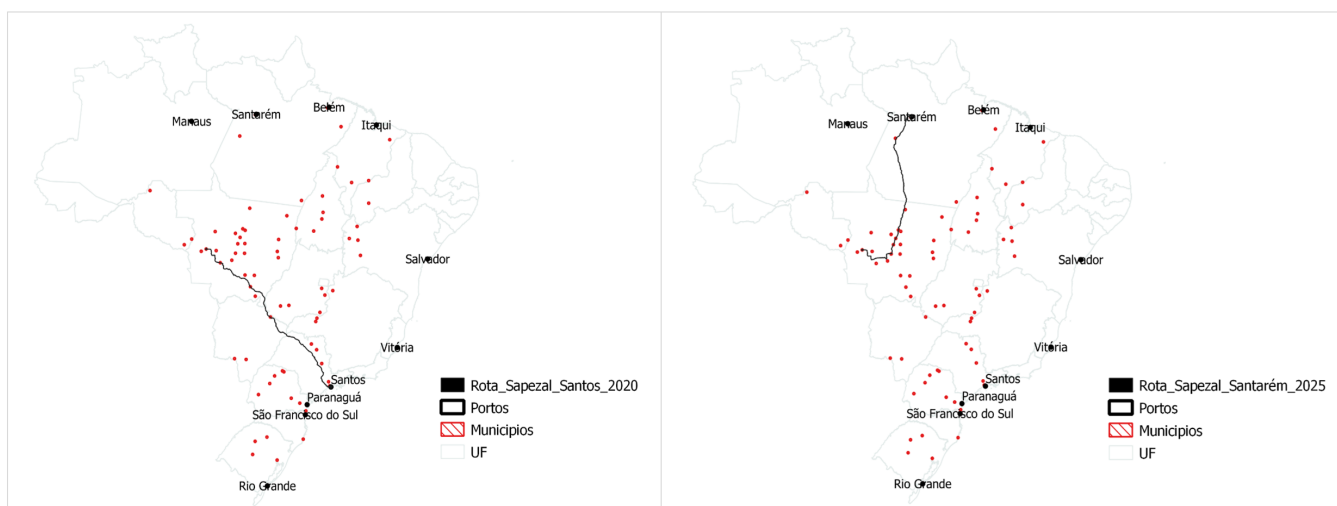
Os mapas de fricção (também denominados na literatura como superfícies de curso ou de esforço) gerados pelo modelo indicam o valor do frete por quilômetro. A partir do mapa de fricção, se obtém o mapa de custo acumulado para todo o território estudado. No custo acumulado estes valores também são somados considerando todos os 10 portos selecionados. A Figura 32 diferencia os resultados para cada cenário de infraestrutura utilizada (cenário de 2020 no lado esquerdo e de 2025 no lado direito), com a indicação no mapa dos pontos de mais alto custo de transporte de soja no Brasil.



**Figura 32:** Mapa de custo acumulado para identificação das macrobacias logísticas de soja combinando os modos rodoviário, ferroviário e rodoviário para 2020 e 2025.

Com relação ao cálculo das rotas de menor custo e, respectivamente o custo acumulado de transporte, o modelo resultou na tabulação de uma planilha (ANEXO I) contendo os valores para os municípios produtores considerando os dois cenários avaliados. Quanto ao cálculo das mudanças no padrão de roteamento entre os municípios de origem da soja e os portos de destino, a Figura 33 ilustra o resultado do processo no qual a rota original de escoamento da produção do município de Sapezal-MT, um dos maiores produtores de soja do Brasil, para o porto de Santos de acordo com o PNL 2020, é alterada para o porto de Santarém-PA pela então disponibilidade de infraestrutura que ofereça menor custo acumulado.





**Figura 33:** Rota de Sapezal para o porto de Santarém no cenário 2020 (esquerda) e 2025 (direita).  
Fonte: Medeiros (2021),

O modelo permitiu inferir que nos 79 municípios produtores analisados, houve uma alteração em 19% deles considerando os portos de destino para os cenários de 2020 e 2025. Dessa alteração total, 73% são de municípios que possuíam como rota em 2020 os portos Santos, Itaquí e Manaus e na simulação de 2025 passaram a escoar a produção via o porto de Santarém. Outras alterações de rotas são para os portos de Belém, Santos e Salvador, modificando assim as regiões de influência de alguns portos.

#### 4.2 - Modelagem topológica de rotas e macrobacias logísticas

Este tópico complementa a modelagem anterior no tocante à arquitetura de dados e de operadores lógicos utilizados. Em comum, apresenta também o processo de modelagem geográfica no estudo de rotas e de macrobacias logísticas, contudo a construção lógica do modelo baseado em topologia de rede permitiu a alimentação e a comparação dos resultados aos produtos disponibilizados no PNL. Não obstante, a modelagem geográfica aqui explicitada visa subsidiar o entendimento do processo - até o momento não divulgado pela EPL- e prover intensidades simuladas de carga por trechos dos segmentos multimodais para subsidiar análises regionais.

#### 4.2.1 - Definições para entendimento do problema e desenho do modelo

O propósito do modelo é encontrar o caminho de menor custo para transporte de grãos sólidos agrícolas desde o município produtor até o destino final, independente do porto escolhido para exportação. Foi considerada a situação atual da infraestrutura viária e a situação futura após a implantação das infraestruturas previstas para 2035. O problema é analisar a dinâmica da macrologística nacional com a inclusão de projetos ainda não implementados.

A alimentação deste modelo foi feita utilizando dados da Matriz Origem e Destino (MOD) cargas utilizadas no Plano Nacional de Logística - 2035, que possuem como fonte de dados principal o Big Data de Notas Fiscais Eletrônicas (NFe) da Secretaria da Receita Federal (RFB) do ano de 2013, com posterior atualização e cruzamento de informações com outras bases de dados, como o COMEX STAT, cujos dados são extraídos do SISCOMEX e baseados na declaração dos exportadores e importadores. Vale lembrar que estes dados não são disponibilizados pela EPL. (E.P.L, 2021). A MOD multi-origem e multi-destino, considerando o mercado interno e externo. A modelagem é de natureza multi-modal uma vez que deve integrar as infraestruturas que ofereçam o menor custo por segmento na composição do transporte entre a origem e o destino. Aqui, a modelagem é também *multi-commodity*, já que a MOD é dividida em grupos de produtos.

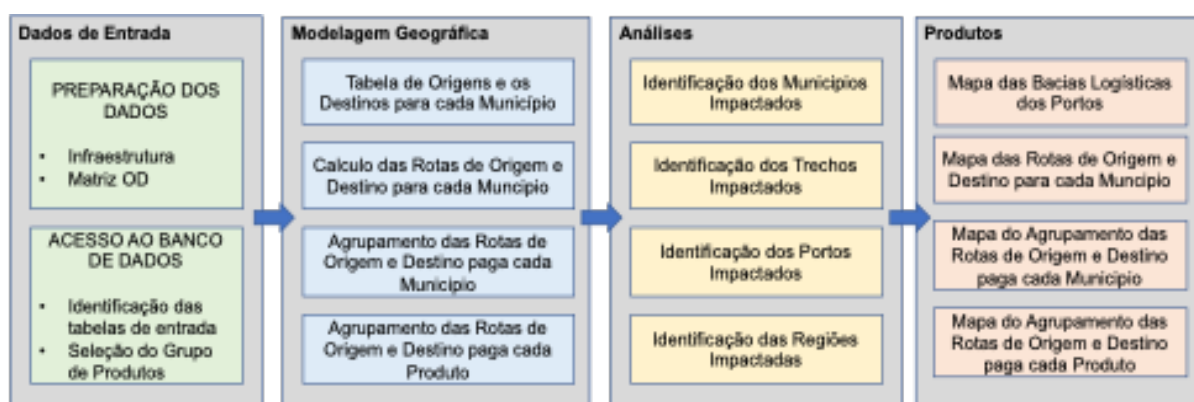
#### 4.2.2 - Modelagem Conceitual

Este estudo considerou todos os municípios brasileiros que exportam grãos sólidos agrícolas ao definir os diferentes cenários de exportação. Isso significa que foram analisadas as rotas e possíveis desafios logísticos para transportar esses produtos para fora do país, levando em conta a geografia e as condições de infraestrutura em todo o território brasileiro. As modelagens elaboradas são divididas em 10 simulações principais:

1. Cenário com a infraestrutura atual (referente a 2017): a rede georreferenciada é constituída pela base de dados disponível na EPL. Caracterizada pela rede

- com os elementos atuais das infraestruturas para os modos de transporte rodoviário, aquaviário (fluvial e marítimo) e ferroviário;
2. Cenário incluindo o projeto da Ferrogrão;
  3. Cenário incluindo o projeto da Ferrovia Integração Centro Oeste (FICO);
  4. Cenário incluindo o projeto da Ferrovia Integração Oeste Leste (FIOL);
  5. Cenário incluindo o projeto do trecho Norte da Ferrovia Rumo;
  6. Cenário incluindo o projeto da Nova Transnordestina;
  7. Cenário incluindo os projetos da Ferrogrão e Trecho Norte da Ferrovia Rumo;
  8. Cenário incluindo os projetos da FICO e FIOL;
  9. Cenário incluindo os projetos da FICO e FIOL com ponto de transbordo no encontro com a Ferrovia Norte Sul (FNS);
  10. Cenário incluindo todos os projetos ferroviários anteriores.

A Figura 34 ilustra o diagrama da modelagem conceitual utilizada no presente estudo de caso. Cabe ressaltar que nesta etapa não é apresentada a forma com a qual a modelagem será computacionalmente implementada.



**Figura 34:** Diagrama de entidade e relacionamento para a modelagem conceitual do processo.

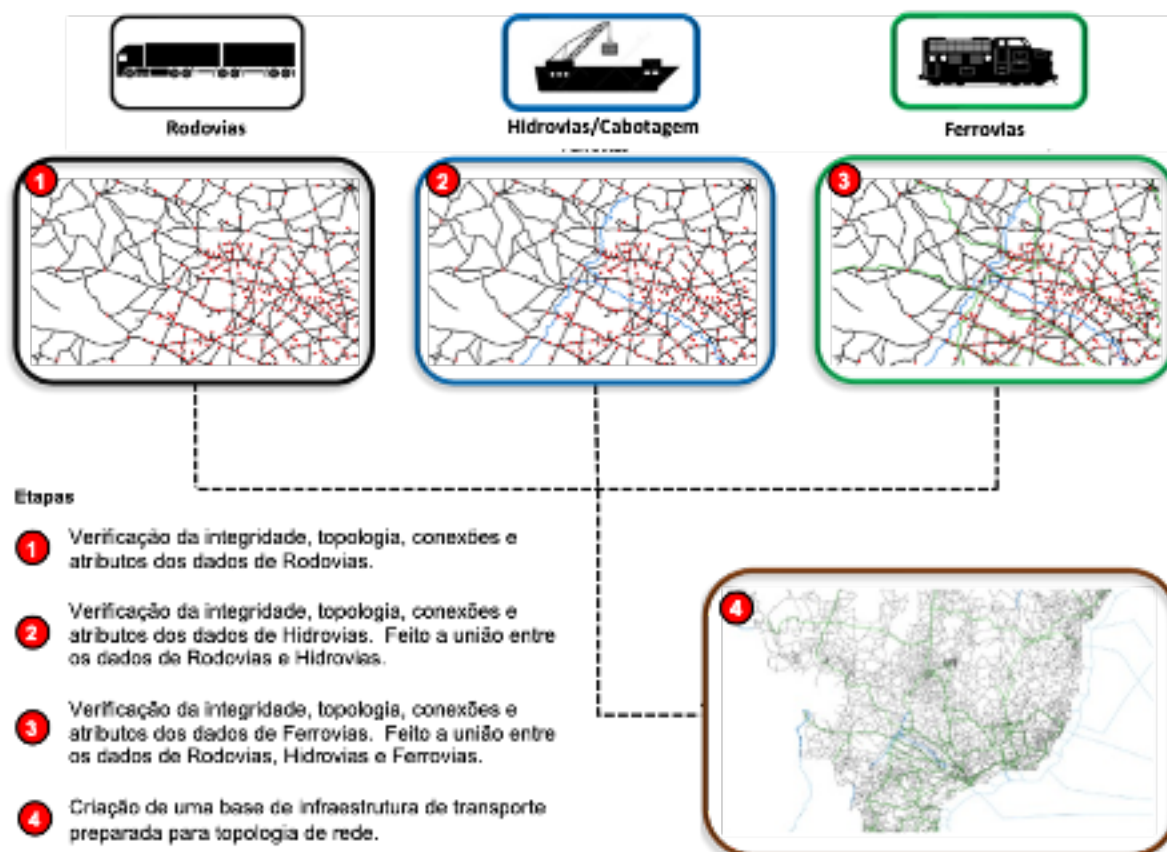
#### 4.2.3 - Preparação dos dados e Modelagem Lógica

Como mencionado anteriormente, nesta etapa é escolhida a arquitetura lógica das soluções a serem implementadas no modelo. Com base na MOD foram identificados 5589 pontos de origem e destino possíveis para cada grupo de produtos. Estes pontos foram identificados como municípios e países ou continentes, denominados Zonas e rotulados por código único. As mercadorias foram agrupadas em 6 categorias de

macro produtos, conforme Figura 10. (E.P.L, 2021). Está organizada de forma que é possível identificar o grupo de produtos através do código único, a Quantidade em toneladas, a Origem e o Destino.

A base de infraestrutura de transporte disponibilizados pela EPL no site do Observatório Nacional de Transporte e Logística (E.P.L, 2022), não está adequadamente preparada para roteamento além de serem referentes a 2018. Ainda assim esta base foi utilizada, considerando que é a mais próxima da que foi utilizada pela EPL para a modelagem dos cenários apresentados no Plano Nacional de Logística – 2035.

Para harmonizar as informações de atributos entre os diferentes conjuntos de dados, foi realizado um estudo minucioso, garantindo que todos os pontos de origem e destino estejam conectados. Além disto, foi necessário remover os trechos duplicados, sobrepostos e reconectar vértices desconectados, que foram encontrados na base (Figura 35). O resultado foi um banco de dados de infraestrutura de transporte harmonizado, onde é permitida a inclusão de novos trechos bem como alterações no tipo de pavimentação dos trechos.



**Figura 35:** Esquema da preparação da base de dados.

Em seguida, depois de garantir a integridade dos dados, foi feita a inserção no banco de dados juntamente com a Matriz Origem e Destino (Figura 36). Para isto foram utilizados o QGIS, PostgreSQL e o complemento PostGIS.



**Figura 36:** Esquema da preparação da base de dados e inserção no banco de dados.

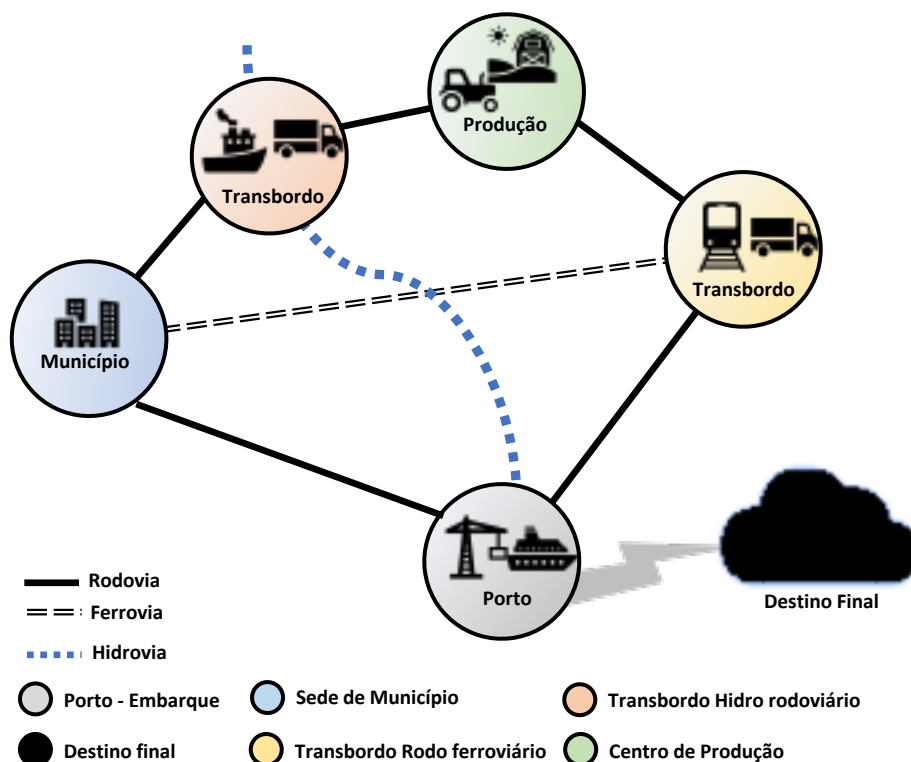
Para o cálculo do custo em cada trecho, foi considerada a média dos custos para cada modo de transporte (rodoviário, ferroviário, hidroviário e cabotagem) disponibilizados pela EPL no Simulador de Custo de Transporte (E.P.L, 2020). Utilizando o PostGIS

foi gerada toda a topologia da rede, calculado as distâncias e custos por trecho ou arco da rede de acordo com o modo e o tipo de pavimento. O custo de cada trecho ou arco da rede, também pode ser chamado de valor de peso que será considerado pelo algoritmo de otimização das rotas.

O modelo desenvolvido, permite a alteração do custo para um determinado trecho, considerando, por exemplo, a alteração do pavimento de uma via, pode ser feito recalculando o custo, porém a inserção de um novo trecho, não previsto, exige a reconstrução da topologia da rede. Considerando que o município de origem do produto nem sempre é o mesmo onde foi produzido, ainda assim o município foi considerada a origem. E ainda, o destino da carga, nem sempre é o seu destino final.

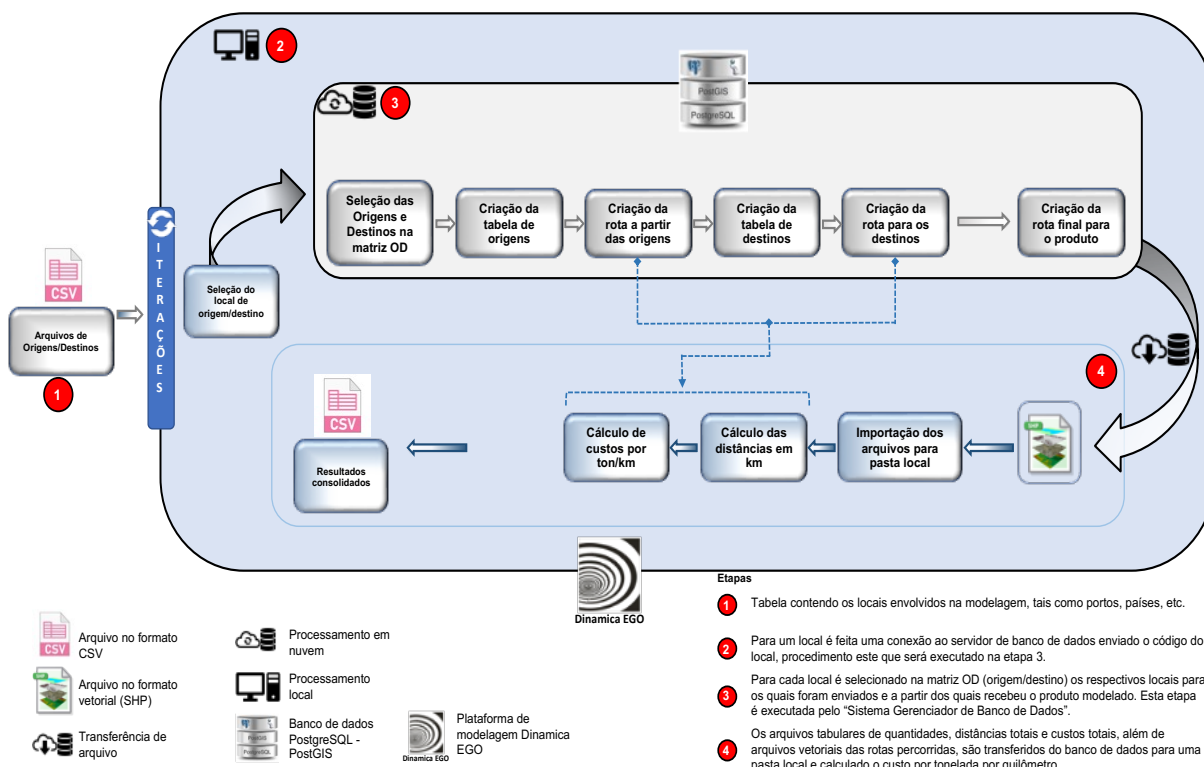
Um dos fatores mais importantes na escolha do modo de transporte é o custo, que afeta diretamente o preço final do produto e no caso das *comodities* agrícolas, afeta diretamente o ganho do produtor. Há muitas rotas para que uma carga possa percorrer o trajeto da origem até o destino. Ao definir uma rota de menor custo, o produto poderá chegar ao seu destino com maior valor agregado.

O algoritmo Dijkstra tem sido amplamente utilizado para otimização de rotas (DOU; MEBARKI; CHENG; ZHENG et al., 2019; FABIANO; CURRÒ; REVERBERI; PASTORINO, 2005) com diversos objetivos e metodologias de cálculo do peso dos arcos. Para resolver o modelo no cálculo do peso dos arcos, foi considerado o custo, que foi calculado de acordo com o comprimento em quilômetros (WANG; YU; ZONG; LU, 2022). Na prática, isto é equivalente a resolver o problema de caminho mais curto, em uma rede de transporte (Figura 37), onde cada trecho tem um comprimento e um custo, considerando o tipo de modo de transporte e tipo de piso. Neste caso, o problema é encontrar o caminho de menor custo entre a origem de um produto até o destino final.



**Figura 37:** Representação gráfica de uma rede de transporte

O input do modelo é uma lista de municípios que se deseja simular as rotas, além, do produto a ser simulado. O modelo seleciona na MOD todos os municípios de destino e todos os municípios de origem para cada localidade elencada (municípios produtores ou portos exportadores) do produto selecionado. O sistema gera uma tabela de Origem e outra de Destino para o município. Combinadas, essas tabelas passam a conter todos os pares de input para cálculo das rotas de menor custo, utilizando a base multimodal de infraestrutura de transporte. Neste vetor existe um atributo que armazena a quantidade do produto que trafegou pelo trecho. Este processo é repetido para cada par OD referente ao município selecionado gerando um vetor contendo as rotas originadas e outro contendo as rotas com destino, além da quantidade acumulada, por trecho para o produto selecionado. A rota traçada considera os três modos de transporte rodovia, ferrovia e hidrovia, e a alteração de um modo para o outro é permitida desde que exista um ponto de transbordo no local. A Figura 38 mostra, de forma simplificada, o fluxograma do modelo proposto.



**Figura 38:** Modelo proposto para simulação da macrologística nacional para determinado produto.

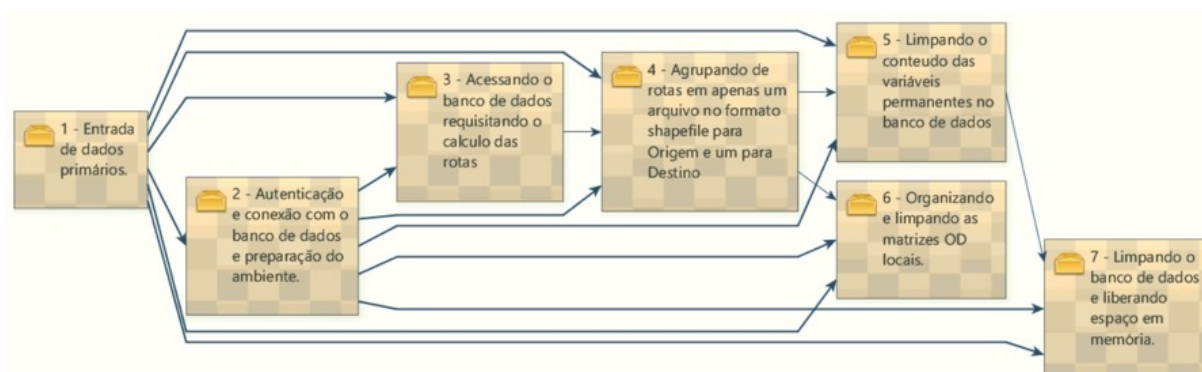
#### 4.2.4 - Modelagem física

Para implementar o modelo, foi necessário utilizar recursos de dois softwares específicos: o Dinamica EGO e o PostGreSQL. Esses recursos foram combinados para criar uma solução integrada que permitisse a execução do modelo de forma eficiente e precisa. O Dinamica EGO foi utilizado para realizar simulações e análises espaciais, enquanto o PostGreSQL foi utilizado como um banco de dados para armazenar e gerenciar as informações necessárias para o modelo. A partir do código de um município, a plataforma de modelagem Dinamica EGO, faz uma requisição ao PostgreSQL para que sejam selecionados na MOD todos os municípios de destino a partir deste município e todos os municípios de origem para este município, do produto selecionado. Uma tabela de Origem e outra de Destino para o município é gerada. Em seguida, o PostGIS é requisitado a gerar uma rota entre o par OD da MOD. O



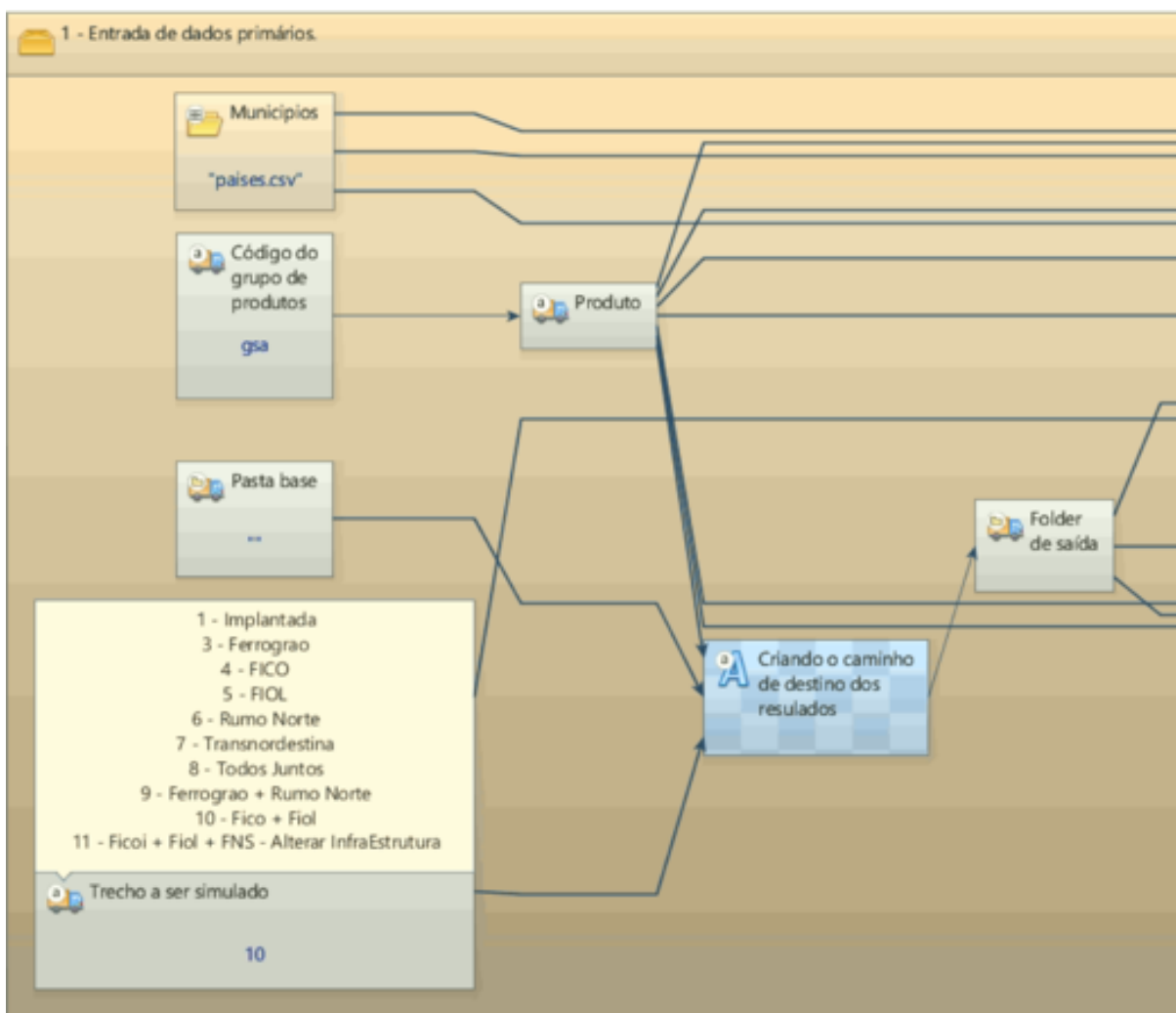
modelo adota o algoritmo de Dijkstra, considerando que o mesmo já se encontra implementado como uma extensão do PostGIS.

O modelo está dividido em sete grupos, cada um com uma função. Observa-se na Figura 39 que os módulos 1, 2, 3 e 4 são executados sequencialmente, enquanto os grupos 5 e 6 são executados simultaneamente ou paralelamente.



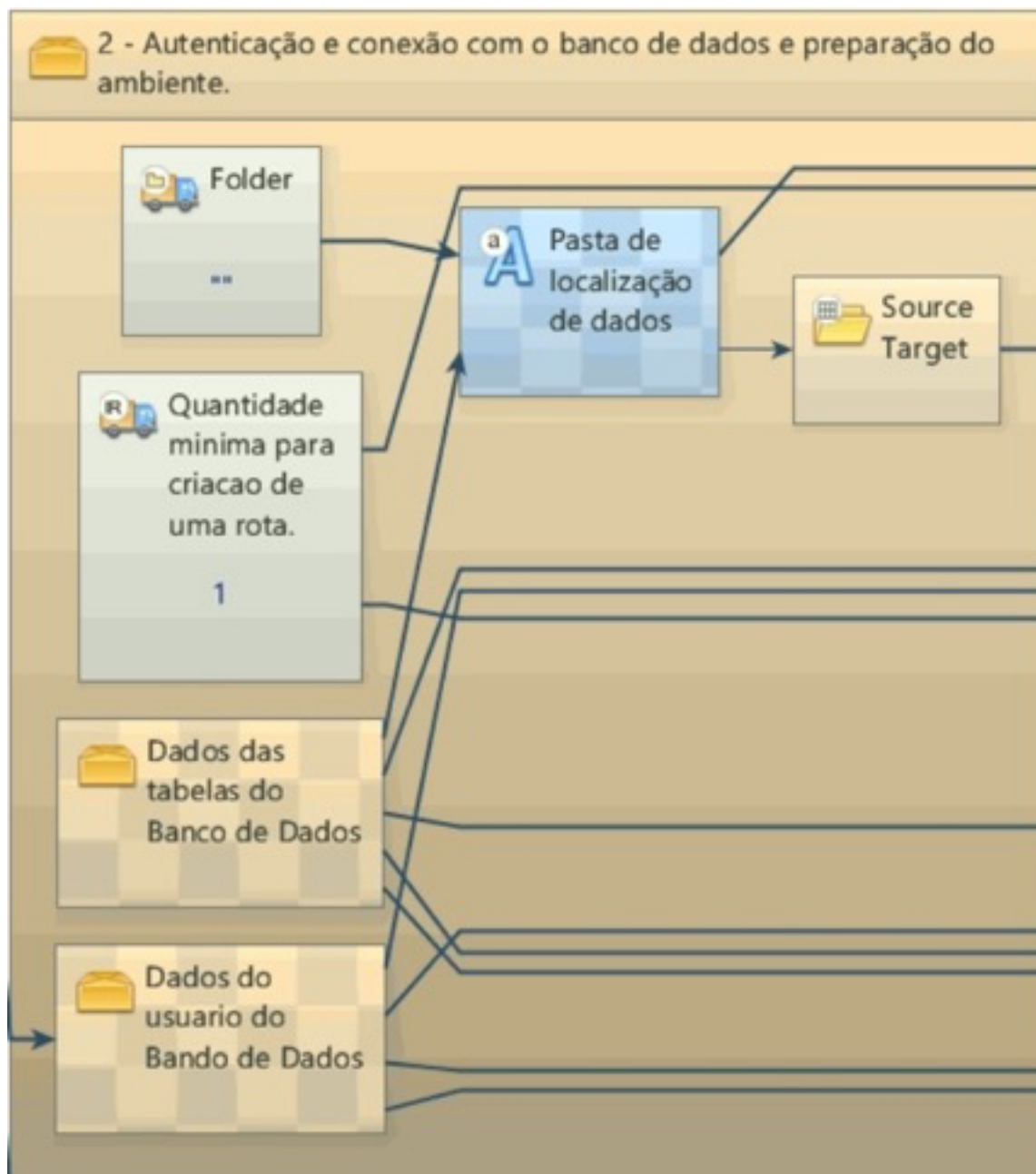
**Figura 39:** Visão geral do modelo físico com os 6 submodelos implementados no Dinamica-EGO

Grupo 1 – Responsável pela entrada de dados primários como o Código do grupo de produtos (1), a pasta base local para armazenamento dos resultados (2), uma tabela contendo os códigos (Zonas) dos pontos de Origem e Destino que se deseja simular (3) e o Código do trecho a ser simulado (4) (Figura 40).



**Figura 40:** Grupo 1 do modelo

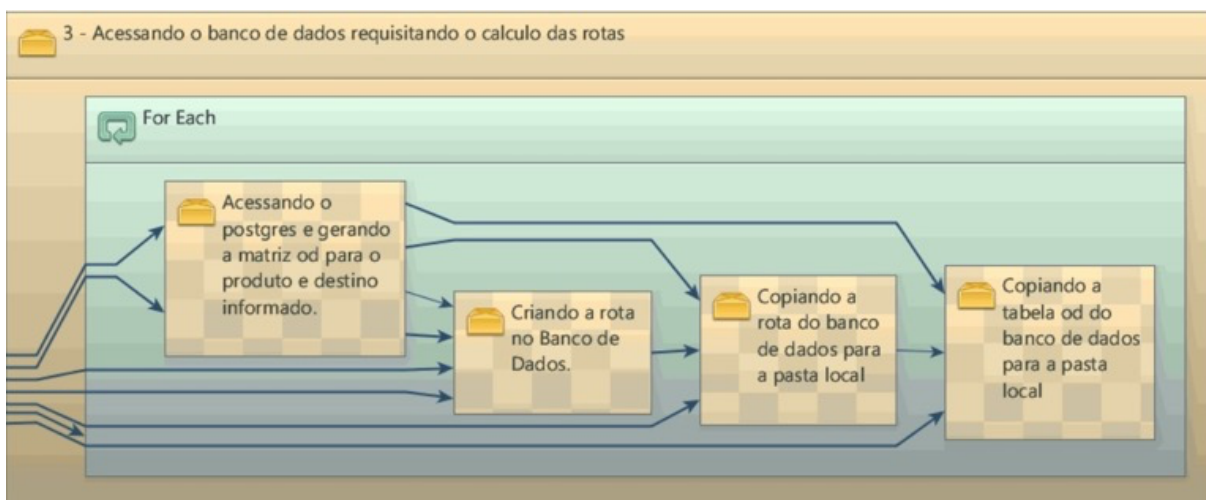
Grupo 2 – Responsável pela autenticação do usuário (1), seleção das tabelas no banco de dados (2), seleção da quantidade mínima do grupo de produtos para que seja traçada a rota (3) e seleção da pasta de entrada de dados no computador local (4), como mostrado na Figura 41.



**Figura 41:** Grupo 2 do modelo

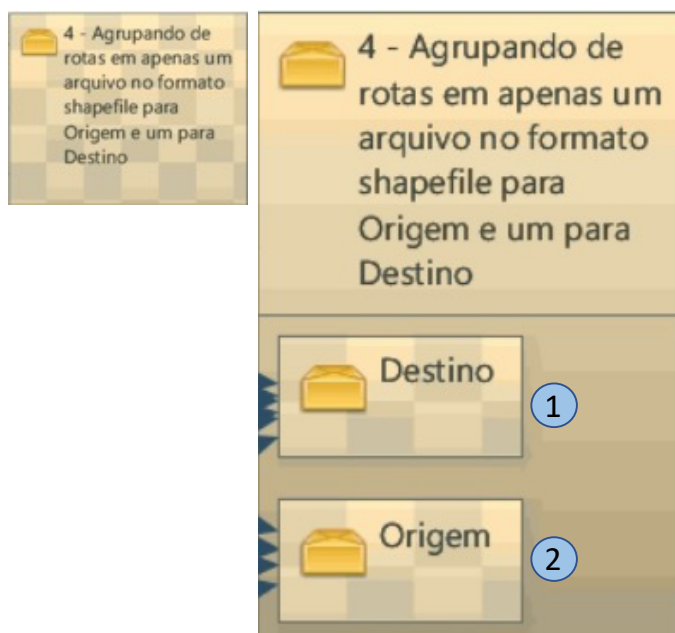
Grupo 3 – Neste grupo, existe um laço (loop) para que seja executado para cada uma das Zonas de origem e destino. É feito acesso ao banco de dados e envia um código de Zona, em seguida é requisitado a construção de uma matriz Origem e outra Destino para cada Zona (1). Em seguida é gerado uma rota onde a Zona selecionada é a Origem e outra rota onde a Zona é o Destino (2). Depois de geradas as rotas, estas

são transferidas para uma pasta local (3) juntamente com as matrizes OD (4), ilustrado na Figura 42.



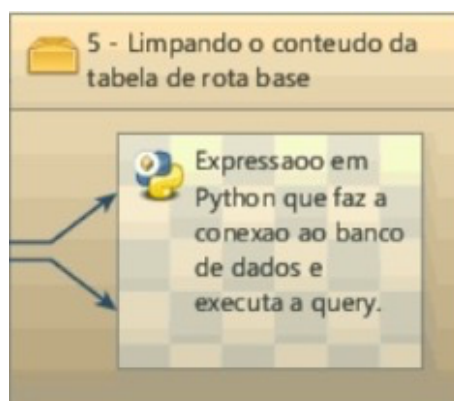
**Figura 42:** Grupo 3 do modelo

Grupo 4 – Este grupo é responsável pelo agrupamento das rotas de Origem (1) e Destino (2) em arquivos no formato *shapefile* e armazenando em pasta local (Figura 43).



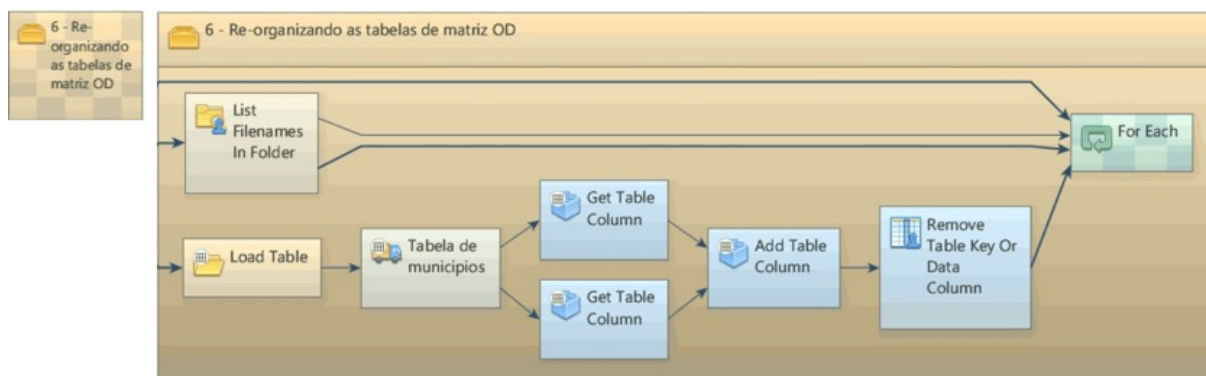
**Figura 43:** Grupo 4 do modelo

Grupo 5 – Neste grupo é efetuada a limpeza das tabelas e rotas criadas para cada Zona (Figura 44).



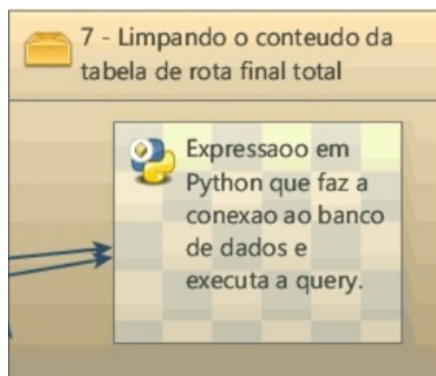
**Figura 44:** Grupo 5 do modelo

Grupo 6 – Aqui é executada uma varredura em todas as tabelas das matrizes OD, de cada uma das zonas e removidos registros em branco (Figura 45).



**Figura 45:** Grupo 6 do modelo

Grupo 7 – Finalmente, é executada uma limpeza no banco de dados liberando espaço em memória e disco, deixando preparado para uma nova simulação (Figura 46).



**Figura 46:** Grupo 7 do modelo

#### 4.2.5 - Validação do Modelo

A validação de um modelo é feita para uma determinada finalidade ou uso específicos dentro de uma faixa satisfatória de precisão nos resultados. Já a verificação busca encontrar erros de lógica do modelo (SARGENT, 2013). Desta forma, tanto a validação como a verificação devem ser feitas como parte do processo de desenvolvimento do modelo. Além disto, consideramos que um modelo é considerado válido quando possui a exatidão necessária para cumprir as metas do modelo (CORREA et al., 2014). Para este estudo, o algoritmo de Dijkstra foi adotado por ser altamente utilizado para esta finalidade e já implementado no banco de dados PostgreSQL, através da extensão PGRouting. Os problemas de caminho mais curto foram estudados com a ideia de encontrar uma rota alternativa no caso de um caminho for interrompido ou bloqueado. Aqui, este problema é estudado para determinar o impacto na logística nacional e no custo de transporte, quando um novo trecho ou caminho é inserido na rede. Se este novo trecho ou caminho tem potencial para ser utilizado ou não e ainda, qual o seu impacto no custo do transporte da Origem até o destino final.

O custo de cada vértice foi calculado através da média do custo do frete por quilometro por tonelada calculado e disponibilizado pela EPL, considerando os modais disponíveis, rodoviário, ferroviário e hidroviário. Portanto, o custo de um vértice é:

$$C_t = C_v * F \quad (1)$$

Onde, **Ct** é o Custo do Vértice, **Cv** o Comprimento do Vértice em quilômetros e **F** o valor médio do Frete por quilômetro para o modal.

A alimentação deste modelo foi feita utilizando dados da matriz origem destino implementada pela EPL, referente ao ano de 2017, com a finalidade de ser a linha de base do Plano Nacional de Logística de 2035. Para este estudo, este cenário foi denominado Cenário Atual ou simplesmente Simulado. Segundo o PNL 20235, esta matriz foi construída com dados de uma grande base de dados do governo, incluída a base de notas fiscais de comercialização dos produtos.

Em relação à validação, é necessário avaliar se os resultados do modelo estão de acordo com os resultados do sistema real, para isto consideramos a base de dados do Anuário Estatístico da Agência Nacional de Transportes Aquáticos (ANTAQ), que registra a movimentação de carga nos portos brasileiros e também, dados do total de exportações extraídos da Matriz OD da EPL. Selecionamos os sete principais portos brasileiros com sua capacidade máxima anual e o volume de Granéis Sólidos Agrícolas (GSA) embarcado em cada porto. Considerando que os dados de custos e infraestrutura de transporte utilizadas pela EPL não são públicos, utilizamos a infraestrutura disponível no Ministério da Infraestrutura e a média do custo do frete por quilometro por tonelada (Fórmula 1). Assim, é esperado que o resultado da simulação mostre que o volume de carga embarcado em cada porto (Tabela 5) esteja dentro da média informada por cada uma das fontes dos dados.

**Tabela 5:** Resultados da comparação entre os portos.

Porto	Capacidade (Ton)	Embarque em Toneladas - 2017						Média
		EPL		ANTAQ		Simulado		
Barcarena - PA	20,000,000	15,062,183	14%	16,231,030	13%	22,106,339	15%	14%
Santarém - PA	5,000,000	9,880,068	9%	4,293,581	4%	8,074,788	6%	6%
São Luis - MA	14,000,000	11,619,736	11%	12,695,634	10%	18,861,530	13%	12%
Santos - SP	70,000,000	35,313,821	34%	51,235,967	42%	54,651,517	38%	38%
Paranaguá - PR	35,000,000	12,991,638	12%	18,765,173	15%	22,217,292	16%	14%
São Francisco do Sul - SC	15,000,000	4,129,925	4%	5,485,556	5%	4,291,643	3%	4%
Rio Grande - SC	30,000,000	15,914,060	15%	13,185,471	11%	12,716,064	9%	12%
<b>Total</b>	<b>189,000,000</b>	<b>104,911,431.96</b>	<b>100%</b>	<b>121,892,412.56</b>	<b>100.00%</b>	<b>142,919,172.20</b>	<b>100.00%</b>	
<b>Média</b>	<b>47,250,000</b>	<b>14,987,347.42</b>	<b>14%</b>	<b>17,413,201.79</b>	<b>14%</b>	<b>20,417,024.60</b>	<b>14%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor

Com o objetivo de validar o volume de carga embarcado nos principais portos brasileiros, os resultados são satisfatórios, pois, a relação em porcentagem dos embarques de cada porto com o total do conjunto observado, está dentro da média ou próximo dela. Além disto, a porcentagem da média dos portos em relação ao total de cada uma das fontes de dados, também está na média de 14%.

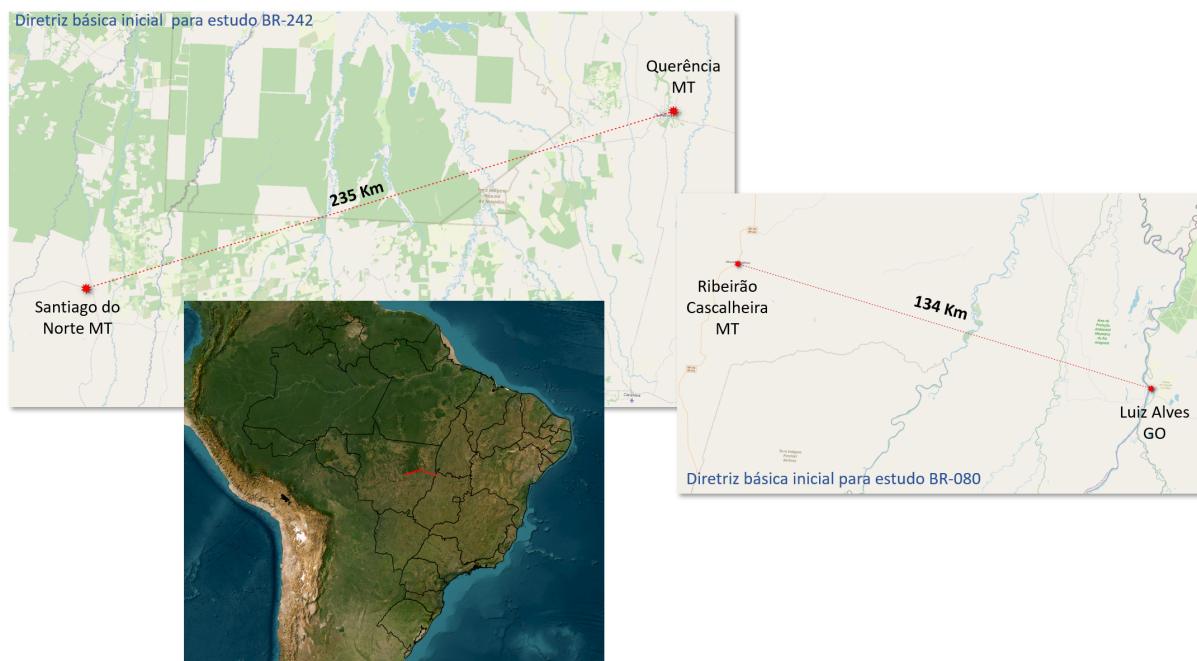


## **5 - APLICAÇÕES E RESULTADOS DOS MODELOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação dos modelos desenvolvidos nos capítulos 3 e 4 em dois estudos de caso que demandam debates sobre o eminente impacto das infraestruturas de transporte propostas em áreas protegidas e socio ambientalmente vulneráveis. Contudo, seguindo o objetivo central desta tese, os resultados dos estudos são debatidos no âmbito do modelo, sua aplicação, ganhos e potencial de aperfeiçoamento do processo de análise e tomada de decisão, e não nos aspectos ambientais e socioeconômicos propriamente ditos. Para tal aprofundamento, cabe ressaltar que o ineditismo das aplicações e a relevância do tema permite análises focadas nos impactos potenciais revelados pelos resultados dos modelos.

### **5.1 - Estudo de alternativa à proposição das BR-080 e BR-242**

Em setembro de 2019 a UFMG foi consultada pela coordenação do Programa de Parcerias e Investimentos da Secretaria da Presidência da República (PPI) a respeito da elaboração de corredores de viabilidade para auxiliar os estudos em andamento de dois segmentos rodoviários propostos no centro oeste brasileiro: BR080 conectando as localidades de Luiz Alves-GO e Ribeirão Cascalheira-MT, e BR242 conectando as localidades de Querência-MT e Santiago do Norte-MT, conforme ilustra a Figura 47.



**Figura 47:** Localização da área de estudo das diretrizes iniciais dos segmentos BR-242 e BR080.

A PPI, entre outras funções, arquitetou o provimento de operações e metodologias capazes de enriquecer os processos de tomada de decisão envolvidos no planejamento e execução de infraestruturas de transporte, sobretudo com a inclusão de técnicas robustas para auxiliar os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental. Neste contexto, a consulta foi para a adoção da metodologia de geoprocessamento apoiado por análise multicritérios de domínio do grupo de pesquisa, e incluir nos estudos as considerações ambientais visando a necessidade de equilíbrio entre aspectos de engenharia e meio ambiente e compatibilidade com as exigências legais. Contudo o contexto socioambiental das áreas a serem estudadas exige atenção e olhares interdisciplinares que transcendem a perspectiva cartesiana tradicionalmente aplicada na engenharia, preocupação central da equipe do PPI ao optar pelo emprego da modelagem geográfica de corredores de viabilidade.

### 5.1.1 - Caracterização do problema

Ao sobrepor ao mapa da área de estudo algumas camadas de informação como terras indígenas (TI) demarcadas, unidades de conservação, hidrografia, assentamentos rurais, remanescentes, entre outros, tornou-se evidente a preocupação apontada pela

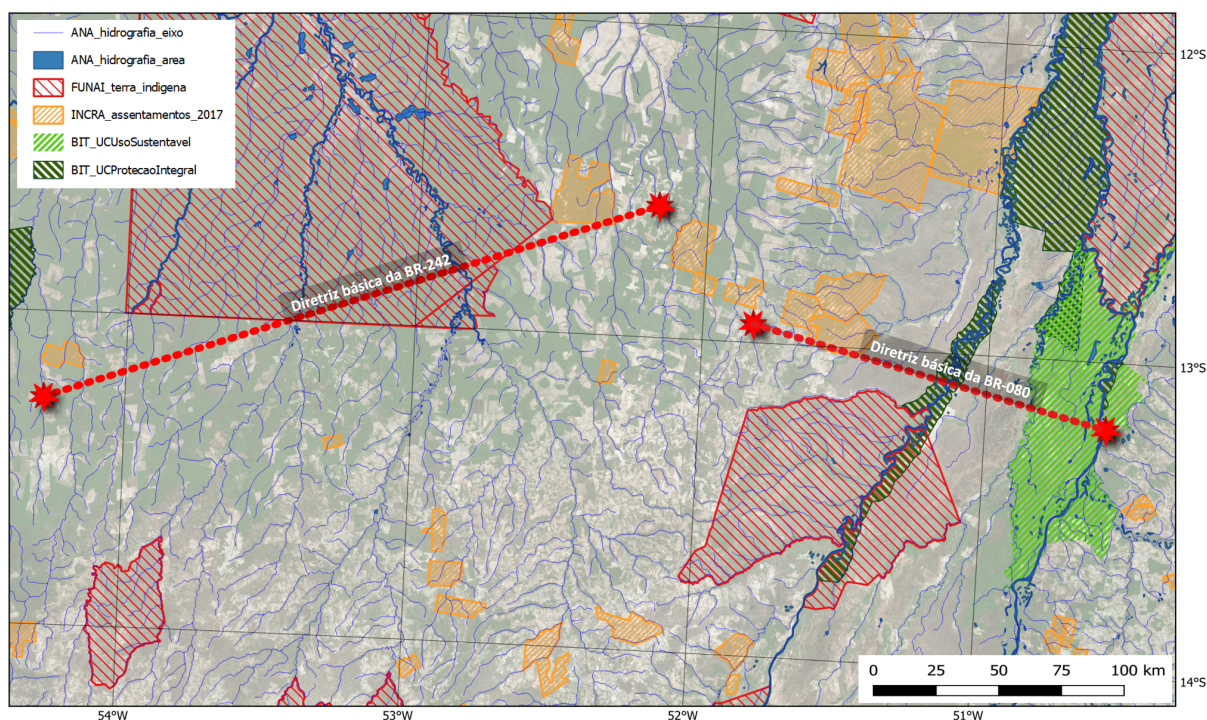
PPI posto que alguns pontos chamaram a atenção e mereceram ser considerados nas perspectivas ambiental e social, ilustradas na Figura 48.

Na perspectiva ambiental destacam-se as seguintes preocupações:

- A diretriz básica para estudo da BR080 claramente intercepta a área de proteção ambiental (APA) Meandros do Rio Araguaia e o refúgio da vida silvestre (RVS) Quelônios do Araguaia, que é uma unidade de conservação de proteção integral (UCPI);
- A diretriz básica para estudo da BR-242 intercepta a região de recarga de água bacia hidrográfica do rio Xingú;

Na perspectiva Social:

- A proximidade do segmento da BR080 em relação as TI Pimentel Barbosa (ao sul) e Alto Araguaia (ao norte);
- A proximidade do segmento da BR242 em relação à TI Parque do Xingú (ao norte) e Pequizal do Naruvôtu (ao sul);
- Preocupação com potencial desapropriação de população em assentamentos regulares já estabelecidos.



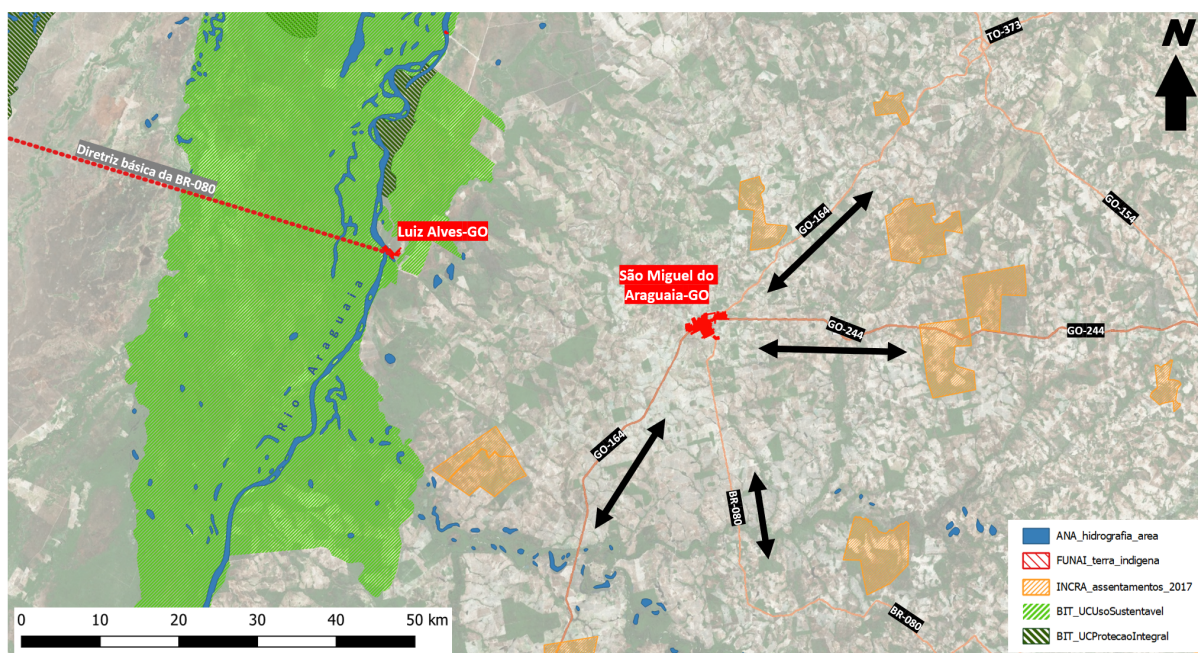
**Figura 48:** Sobreposição de camadas socioambientais à área integrada de estudo dos segmentos da BR242 e BR080 ressaltando a preocupação justificada no estudo.

Em adição às perspectivas ambiental e social supracitadas, este estudo incluiu, a título de exercício para estudo, a perspectiva logística de uma alternativa a injeção estabelecida na localidade de Luiz Alves-GO. A hipótese investigada neste estudo foi que a modelagem geográfica poderia fornecer alternativas de corredores de viabilidade que reduzisse simultaneamente os potenciais impactos diretos da infraestrutura proposta. Não obstante, foi também proposta e investigada a mudança do ponto de origem de Luiz Alves-GO para o entroncamento rodoviário em São Miguel do Araguaia-GO (Figura 49) e que, embora seja uma alteração de cunho logístico, tende a provocar resultados mais conservadores nas perspectivas ambiental e social.

Cabe ressaltar que a o segmento proposta da BR-080 já possui Licença Prévia emitida pelas autoridades ambientais e que a ponte sobre o rio Araguaia se encontra em estágio avançado de construção. Na prática, os ensaios logísticos propostos neste estudo apenas alimentam a discussão e ilustram o potencial da modelagem



geográfica como ferramenta de suporte a tomada de decisão para ser considerada em casos semelhantes ainda em estágio de planejamento.



**Figura 49:** Detalhe sobre o ponto de origem do segmento da BR-080 localizado em Luiz Alves-GO, uma pequena vila localizada em uma APA as margens do Rio Araguaia e distante 40km do entroncamento rodoviário de São Miguel do Araguaia-GO.

A pesquisa teve como objetivo central demonstrar ao Programa de Parcerias e Investimentos da Secretaria da Presidência da República a necessidade de modernização do planejamento de infraestruturas transportes através da imposição e uma visão holística e da transversalidade entre entes de diferentes pastas.

### 5.1.2 - Modelagem

A investigação recorreu ao modelo conceitual de corredores de viabilidade apresentada no Capítulo 3 - Estudo de viabilidade em projetos *greenfield*, combinando o poder do geoprocessamento e da análise multicritérios através da organização e transparência dos dados, das regras de decisão e das ações. Por se tratar de infraestrutura rodoviária, em especial de um segmento relativamente curto, o modelo

lógico sofreu alterações em seu escopo, sendo a mais significativa a supressão do grupo de variáveis mercadológicas.

Todos os dados utilizados no estudo são públicos e de natureza oficial nas esferas governamentais da União e dos estados de Goiás e Mato Grosso. O estudo contou também com o emprego exclusivo de ferramentas livres como o QGIS para preparação dos dados (Tabela 6), visualização e composição dos mapas, e também o Dinamica-EGO para a etapa de modelagem física, esta com substanciais incrementos de automatização do processo até então inéditos em aplicações dessa natureza.

**Tabela 6:** Dados utilizados no estudo, fonte e formato.

Dado	Fonte	Tipo
Agricultura	MapBiomias	raster
Assentamentos	INCRA	vetor/tabela
Cavidades	ICMBio	vetor
Cobertura Florestal	MapBiomias	raster
Estradas	OpensStreetMap	vetor
Hidrografia	ANA	vetor
Manchas Urbanas	Mapbiomas + OSM	raster /vetor
Pastagem	MapBiomias	vetor
Preço da Terra <sup>6</sup>	Anuário de Agropecuária	tabela
Terras Indígenas Demarcadas	FUUNAI	vetor/tabela
Unidades de Conservação Uso Sustentável	ICMBio	vetor/tabela
Unidades de Conservação Proteção Integral	ICMBio	vetor/tabela

Para a preparação e modelagem dos dados, foi considerado um retângulo envolvente que incluísse a localidade de São Miguel do Araguaia-GO como extremidade leste, e Santiago do Norte-MT como extremidade oeste. Os dados foram devidamente

---

<sup>6</sup> Ao carregar a variável preço da terra em tela, verificou-se que a superfície por ela gerada não apresentava nenhuma nuance que pudesse influenciar no corredor de viabilidade devido à característica longitudinal da diretriz principal estudada. Contudo, a variável foi mantida sem prejuízo no modelo permitindo que o mesmo possa ser utilizado em outros estudos.

recordados pelo limite e trabalhados para seus devidos usos como camadas de entrada do modelo. Considerou-se neste estudo a resolução original dos dados de cobertura e uso do solo do MapBiomias.org com *pixels* de 900m<sup>2</sup>, compatível para o nível de detalhe exigido neste estudo.

Um diferencial acrescentado neste trabalho foi inclusão de procedimentos automatizados de leitura de dados vetoriais e sua devida conversão para formato matricial já modelando esses dados, o que trouxe maior celeridade e organização no processo. As regras de modelagem utilizadas no primeiro nível para cada variável estão descritas na Tabela 7. Estando as camadas de entrada devidamente consistentes, o modelo executa o segundo nível de modelagem integrando as camadas através de álgebra de mapas. Ambos os conjuntos de regras correspondem a arquivos padrão ANSI de leitura automática pelo modelo. Para a definição das variáveis, das regras e dos valores utilizados nessa fase foi consultada a literatura existente e trabalhos já desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do TREM, que recorreram a consulta com especialistas em diversas áreas de atuação no setor rodoviário.

**Tabela 7:** Regras de modelagem no primeiro nível formato.

<b>Dado</b>	<b>Regra</b>	<b>Medida [unidade] {adimensional}</b>	<b>Ranking</b>
Agricultura	Evitamento baixo-médio	[0, 1, 300, 1000, 5000, ≥ 10000 m] {3, 1, 2, 3, 4, 5}	
Assentamentos	Exclusão, porém com atração	[0, 1, 500, ≥ 1000 m] {-1, 1, 2, 3}	
Cavidades	Evitamento máximo	[100, 250, ≥ 500 m] {-1, 5, 1}	
Cobertura Florestal	Evitamento alto	[0, 1, ≥ 100 m] {3, 2, 1}	
Declividade do Terreno	Preferência por terrenos planos	[0, 5, 10, 15, 20, ≥ 30 %] {-5, 3, 1}	
Estradas	Reutilização	[0, 60, 90, ≥ 120 m] {1, 2, 4, 5}	
Hidrografia	Evitamento médio-alto	[0, 1, ≥ 100 m] {-5, 3, 1}	
Manchas Urbanas	Exclusão, porém com atração	[0, 1, 250, 500, ≥ 1000 m] {-1, 5, 4, 3, 2, 1, 2}	

Pastagem	Atração	[0, 100, 300, ≥ 500 m] {1, 2, 3, 4}
Preço da Terra	Preferência por terrenos menor valor	
Terras Indígenas Demarcadas	Exclusão + Afastamento	[0, 5000, 10000, ≥ 40000 m] {-1, 5, 4, 1}
Unidade de Conservação Uso Sustentável	Afastamento Alto	[0, 1, 1000, 2000, ≥ 3000 m] {5, 4, 3, 2, 1}
Unidade de Conservação Proteção Integral	Exclusão + Afastamento	[0, 1, 1000, 2000, ≥ 3000 m] {-1, 5, 4, 3, 1}

- Valores negativos são entendidos como nulos e automaticamente *pixels* são excluídos do cálculo.  
Ranking baixo equivale a menor esforço, ranking alto maior esforço.

A segunda etapa de modelagem envolveu a criação de cenários que ditaram as ponderações aplicadas às variáveis na equação responsável pelo cálculo das superfícies de esforço. Foram propostos 3 cenários, cujas regras estão descritas na Tabela 8. São eles:

- Cenário 1 “Conservador”, com forte tendência conservadora no que tange à perspectiva socioambiental;
- Cenário 2 “Agressivo”, com forte tendência à reutilização de vias existentes, terrenos muito planos e preferência pela manutenção das áreas agrícolas e pastos;
- Cenário 3 “Balanceado”, equilibrando em números os aspectos de engenharia e socioambientais.

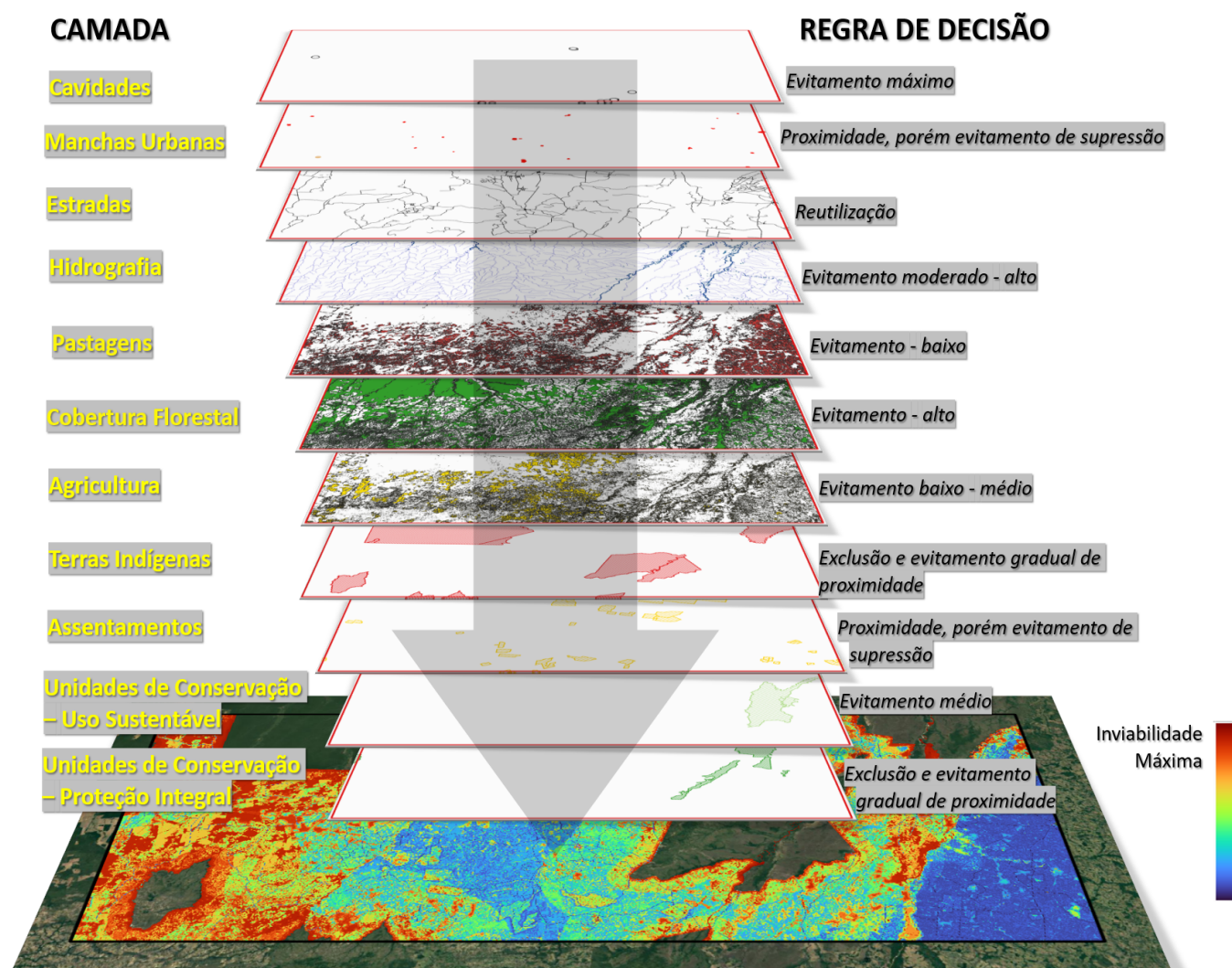
**Tabela 8:** Ponderações atribuídas aos cenários avaliados.

Variável	Pesos		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Agricultura	0.020	0.122	0.125
Assentamentos	0.064	0.083	0.084
Cavidades	0.229	0.040	0.065
Cobertura Florestal	0.059	0.033	0.059
Declividade do Terreno	0.012	0.108	0.012
Estradas	0.025	0.251	0.118
Hidrografia	0.058	0.093	0.083



Manchas Urbanas	0.033	0.092	0.066
Pastagem	0.012	0.034	0.014
Preço da Terra	0.013	0.024	0.025
Terras Indígenas Demarcadas	0.247	0.050	0.151
Unidade de Conservação Uso Sustentável	0.093	0.022	0.053
Unidade de Conservação Proteção Integral	0.133	0.047	0.118

Definidos os cenários, o modelo faz uso da álgebra de mapas equacionando as ponderações de cada variável para geração das respectivas superfícies de esforço por cenário para todos os trechos propostos no estudo. A Figura 50 ilustra o processo e sintetiza as regras utilizadas para o cálculo da superfície de esforço.



**Figura 50:** Ilustração do processo de integração das camadas do modelo utilizando as regras estabelecidas para a geração da superfície de esforço.

Os trechos estudados são:

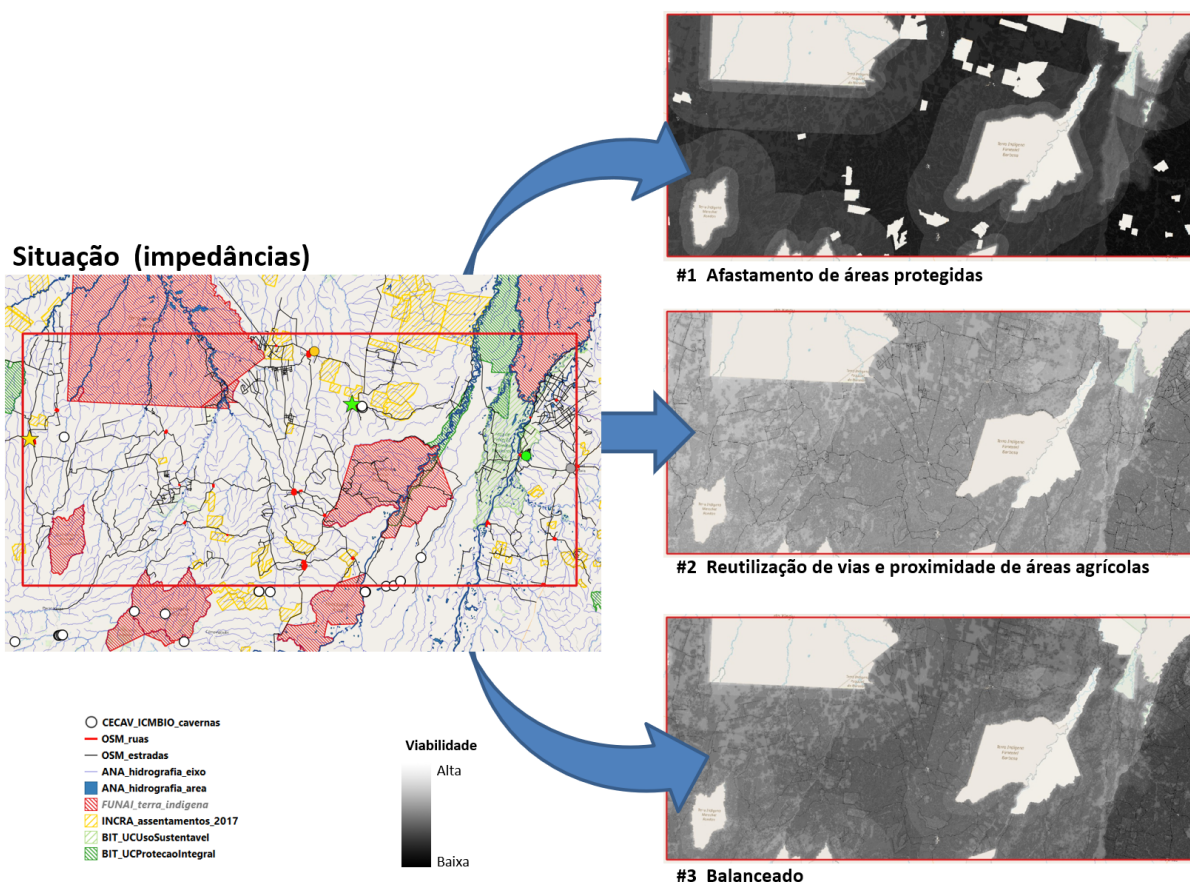
- Segmentos BR-080 e BR242 unindo os pontos originalmente apresentados;
- Alternativa 1: ligação direta entre os extremos leste e oeste (hipótese de maior viabilidade socioambiental)
- Alternativa 2: ligação direta entre o ponto extremo leste originalmente apresentado e São Miguel do Araguaia-GO (hipótese de maior viabilidade socioambiental e logística combinadas).

Neste estudo, serão calculadas e comparadas em cada corredor as seguintes métricas:

- a extensão do eixo central de menor esforço;
- número de travessias de rios;
- extensão de estradas reutilizadas;
- extensão de intersecção em remanescentes florestais;
- extensão de intersecção em áreas agrícolas;
- extensão de intersecção em pastagens
- extensão de intersecção em assentamentos rurais;
- extensão de intersecção em unidades de conservação de uso sustentável;
- extensão de intersecção em unidades de conservação de proteção integral;
- extensão de intersecção em terras indígenas;

### **5.1.3 - Resultados**

Os resultados da aplicação do modelo e desenvolvimento dos cenários são sequencialmente apresentados nesta seção para apoiar a consolidação da hipótese central que a modelagem geográfica poderia fornecer alternativas de corredores de viabilidade que reduzisse simultaneamente os potenciais impactos diretos da infraestrutura proposta. Desta forma, o primeiro grupo de resultados deriva da integração das variáveis do modelo consolidadas nas três superfícies de esforço resultantes da álgebra de mapas deferentes aos cenários de cunho socioambiental “Conservador”, agrícola “Agressivo” e “Moderado”. A Figura 51 ilustra a sobreposição de algumas das camadas que influenciaram o processo e as três superfícies de esforço resultantes.

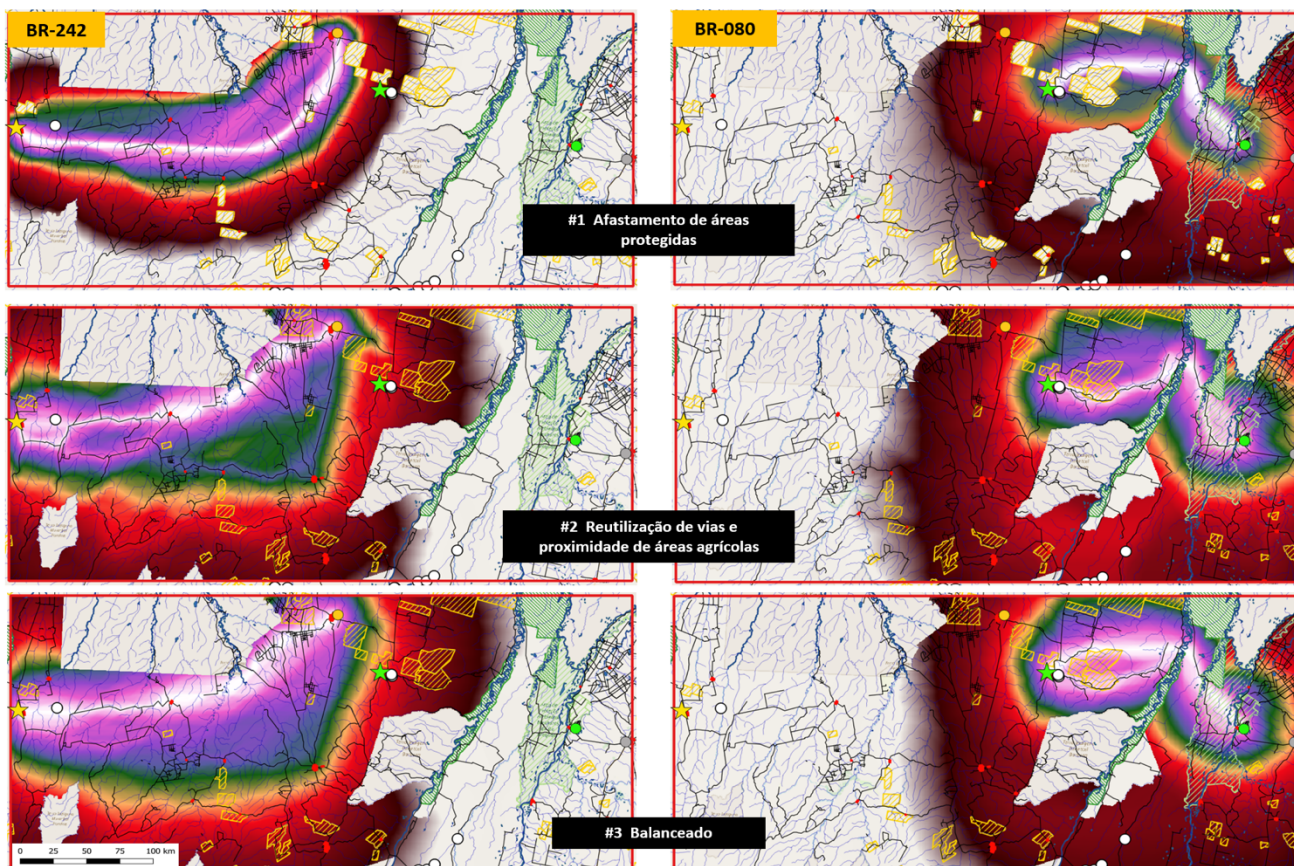


**Figura 51:** Representação das feições que representam as impedâncias consideradas no modelo (esquerda) e as três superfícies de custo acumulado resultante dos cenários computador (direita).

De posse das superfícies de esforço, estas foram utilizadas para o cálculo das superfícies de custo de afastamento das localidades Santiago do Norte-MT e Querência-MT do segmento a ser estudado pra a BR-242, bem como das localidades Ribeirão Cascalheira-MT e Luiz Alves-GO do segmento a ser estudado para a BR-080. Calculadas as superfícies de afastamento para cada trecho, estas foram combinadas (vide Figura 19 na Seção 3.3.3) para a geração do corredor de viabilidade. A Figura 52 sintetiza os resultados dos três cenários aplicados aos dois trechos solicitados pelo PPI. Com base nos corredores resultantes, foi extraído o eixo central de cada corredor<sup>7</sup> para o cálculo das 10 métricas que possibilitaram comparações e analogias quantitativas (Tabela 9).

<sup>7</sup> A extração do eixo central recorreu a ferramenta *least\_cost\_path* e seu resultado não contempla os parâmetros de desenho geométrico de rodovia.





**Figura 52:** Corredores de viabilidade resultantes para os três cenários computados para o estudo do segmento da BR-242 (esquerda) e BR-080 (direita).

**Tabela 9:** Métricas calculadas para os corredores de viabilidade da BR-242 e BR080.

Segmento	Cenário	Extensão Total (km)	Reuso de Vias Existentes (km)	# Travessias de Rios	Intersecção em Florestas (km)	Intersecção em Agricultura (km)
BR-080 (solicitada pelo PPI) Santiago do Norte-MT / Querência-MT	1 Ambiental Conservador	182,51	58,00	17	73,27	7,12
	2 Agrícola-Infraestrutura	212,31	180,70	15	52,02	8,52
	3 Balanceado	180,09	60,54	17	68,71	6,51
BR-242 (solicitada pelo PPI) Ribeirão Cascalheira-MT / Luiz Alves-MT	1 Ambiental Conservador	299,71	120,97	27	110,81	89,32
	2 Agrícola-Infraestrutura	290,38	231,39	21	50,51	134,55
	3 Balanceado	270,02	169,39	19	76,68	102,05

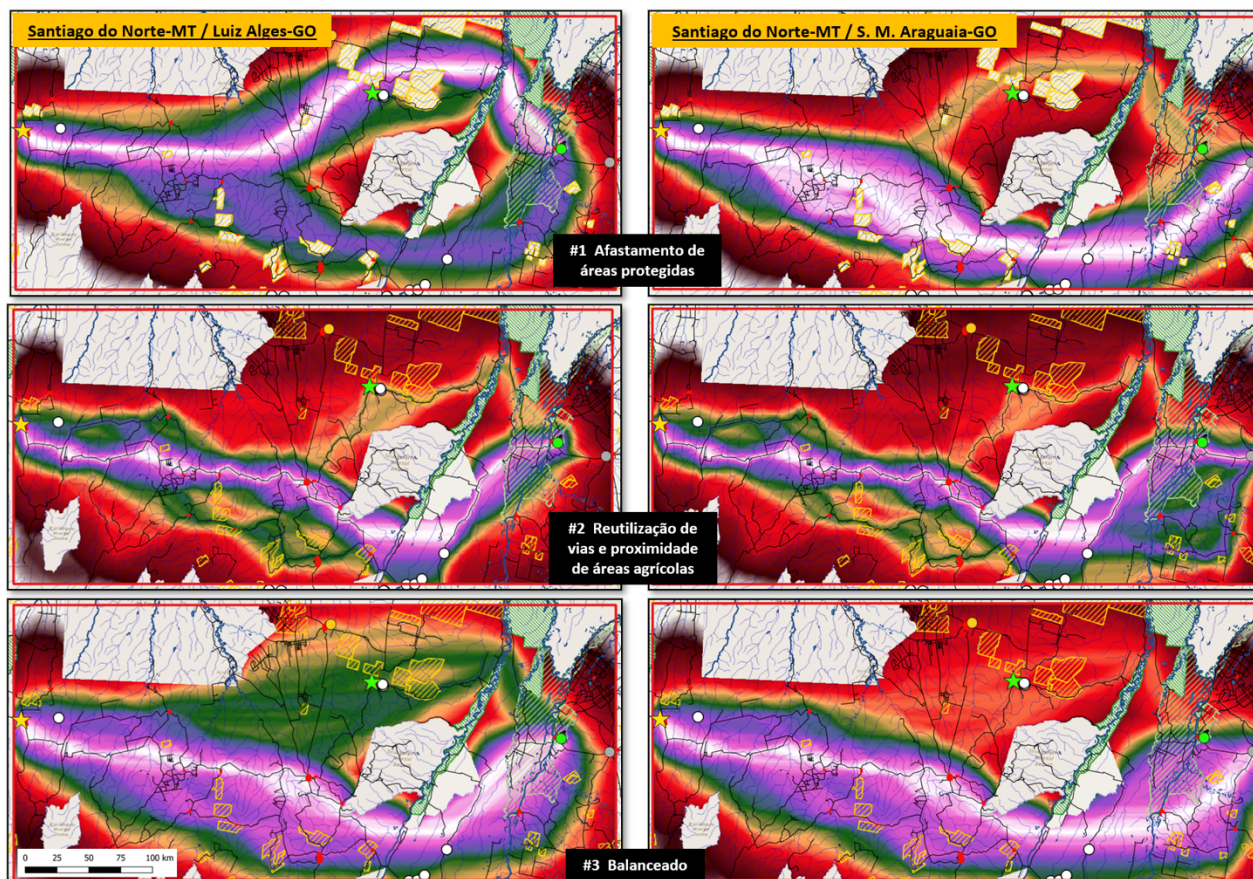
Segmento	Cenário	Intersecção em Pastagens (km)	Intersecção em Assentamentos (km)	Intersecção em UC de Uso Sust. (Km)	Intersecção em T.I. (km)	Intersecção em UC Prot. Int. (km)
BR-080 (solicitada pelo PPI) Santiago do Norte-MT / Querência-MT	1 Ambiental Conservador	52,09	0,00	39,07	0,00	0,00
	2 Agrícola-Infraestrutura	124,91	32,13	61,94	0,00	0,00
	3 Balanceado	48,44	0,00	37,34	0,00	0,00
BR-242 (solicitada pelo PPI) Ribeirão Cascalheira-MT / Luiz Alves-MT	1 Ambiental Conservador	79,34	0,00	0,00	0,00	0,00
	2 Agrícola-Infraestrutura	72,94	0,00	0,00	0,00	0,00
	3 Balanceado	65,50	0,00	0,00	0,00	0,00

Com relação ao segmento da BR-242, nota-se uma forte aderência do corredor ao traçado de vias já existentes nos cenários 2 e 3 quando comparado ao cenário 1. Esse fato explica a performance favorável em métricas como a baixa intersecção em áreas florestais e alta intersecção em pastos e agricultura, pois trata-se de áreas já abertas servidas pela via. Embora as métricas socioambientais como intersecção em TI e UC demonstrem similaridade de resultados, a sobreposição dos corredores no mapa revelam que o cenário 1 foi o único que resultou em um afastamento regular da reserva do Xingú.

Para o segmento da BR-080, embora o cenário 2 tenha resultado em forte reutilização e vias existentes e intersecção de pastagens se comparado aos demais cenários, a diferença na intersecção de remanescentes florestais e agricultura permanece baixa. Porém, o corredor resultante do cenário 2 induz à perda de áreas assentadas e intersecção em UC de uso sustentável. Não obstante, todas as três alternativas computadas sugerem corredores que passam entre as Reserva da Vida Silvestre (RVS) Quelônios do Araguaia e Corixão da Mata Azul, e entre RVS Quelônios do Araguaia e o Parque Estadual do Araguaia, o que causará a supressão dos remanescentes florestais e potencial fragmentação do corredor ecológico para as espécies ali presentes, além do elevado volume de atropelamentos de fauna e conseqüente risco que sabidamente uma rodovia terá ao transpor esse trecho.

A mesma analogia foi aplicada nos demais ensaios para avaliar a hipótese de que esse corredor ao sul proveria alternativas mais sensatas à vulnerabilidade da área, e que sua extensão até São Miguel do Araguaia-GO poderia adicionar uma justificativa logística plausível, dado o entroncamento rodoviário existente se comparado a Luiz Alves-GO. Contudo, cabe lembrar que o que se buscou aqui foi ilustrar o poder da modelagem geográfica na criação e cenários comparativos para alimentar a discussão e aplicações em situações similares quando possível. A Figura 53 ilustra os corredores e a Tabela 10 sintetiza as métricas resultantes.





**Figura 53:** Corredores de viabilidade resultantes da ligação direta entre Luiz Alves-GO e Santiago do Norte-MT calculados para os três cenários avaliados



**Tabela 10:** Métricas calculadas para os corredores de viabilidade calculados

Segmento	Cenário	Extensão Total (km)	Reuso de Vias Existentes (km)	# Travessias de Rios	Intersecção em Florestas (km)	Intersecção em Agricultura (km)
Ligação Direta 1 Santiago do Norte-MT / Luiz Alves- GO	1 Ambiental Conservador	464,96	61,34	44	204,15	69,37
	2 Agrícola-Infraestrutura	512,08	386,85	35	94,90	107,44
	3 Balanceado	501,06	358,19	34	98,19	102,24
Ligação Direta 2 Santiago do Norte-MT / São Miguel do Araguaia-GO	1 Ambiental Conservador	508,89	98,12	40	141,41	74,32
	2 Agrícola-Infraestrutura	544,30	412,69	33	100,50	107,63
	3 Balanceado	528,06	308,08	43	101,93	103,83

Segmento	Cenário	Intersecção em Pastagens (km)	Intersecção em Assentamentos (km)	Intersecção em UC de Uso Sust. (Km)	Intersecção em T.I. (km)	Intersecção em UC Prot. Int. (km)
Ligação Direta 1 Santiago do Norte-MT / Luiz Alves- GO	1 Ambiental Conservador	116,43	8,53	38,17	0,00	0,00
	2 Agrícola-Infraestrutura	224,62	0,00	45,93	0,00	0,00
	3 Balanceado	208,05	0,00	50,19	0,00	0,00
Ligação Direta 2 Santiago do Norte-MT / São Miguel do Araguaia-GO	1 Ambiental Conservador	215,38	0,00	0,00	0,00	0,00
	2 Agrícola-Infraestrutura	242,39	0,00	46,68	0,00	0,00
	3 Balanceado	236,34	0,00	0,00	0,00	0,00

Como esperado, os resultados da ligação entre Santiago do Norte-MT e Luiz Alves-GO demonstram que o desenho dos corredores conectando diretamente as extremidades oeste e leste geram alternativas que contornam ao sul a RVS Quelônios do Araguaia e as TI Wedezé e Pimental Barbosa. Nota-se que, mesmo com as impedâncias impostas às variáveis socioambientais, o cenário 1 resultou em um corredor que intercepta a UC de Uso Sustentável Meandros do Araguaia e tem seu desenho principal ao norte, contrário ao descrito acima. A explicação é que exceto TI e UC de Proteção Integral, as outras variáveis não são impeditivas. Contudo, os parâmetros de decaimento aplicados a essas variáveis, em especial as TI, surtiram efeito de afastamento do corredor das TI Wedezé e Pimental Barbosa, forçando o corredor a tomar o caminho ao norte das mesmas. Nota-se também que nos cenários 2 e 3 a imposição de utilização das vias existentes lapidou o desenho do corredor de forma inteligente, inclusive na transposição da UC de Uso Sustentável Meandros do Araguaia.

Por fim, ao substituir a localidade de Luiz Alves-GO por São Miguel do Araguaia-GO nota-se que todos os corredores desviam ao sul das TI Wedezé e Pimental Barbosa. Nota-se também que o cenário 1 apresenta maior afastamento das TI ao mesmo tempo que desvia totalmente da UC de Uso Sustentável Meandros do Araguaia e se aproxima dos assentamentos rurais existentes. Os demais corredores são forjados majoritariamente pela imposição de reutilização de vias existentes e demonstram

bastante coerência e similaridade entre si, com exceção do trecho onde o corredor resultante do cenário 2 intercepta a UC de Uso Sustentável Meandros do Araguaia reutilizando a via existente.

Cabe ressaltar que a extensão total dos corredores não parametriza as comparações e análises no escopo dos cenários aqui propostos, posto que o objetivo da investigação tem foco na análise de viabilidade da proposição de rodovias em áreas de alta vulnerabilidade socioeconômica e não foco nos aspectos econômicos e construtivos da infraestrutura.

#### **5.1.4 - Conclusão**

A hipótese examinada foi que a modelagem geográfica poderia oferecer possíveis corredores viáveis que reduziram os impactos diretos potenciais da infraestrutura proposta. Os resultados obtidos comprovaram o sucesso dessa abordagem, indicando que a modelagem geográfica foi eficaz na identificação de alternativas que reduziram os impactos ambientais e sociais ao mesmo tempo.

A pesquisa entregou ao Programa de Parcerias e Investimentos da Secretaria da Presidência da República não apenas os estudos solicitados das lacunas da BR-242 e BR080, mas também os resultados de dois estudos alternativos propostos pela UFMG como contrapartida à demanda solicitada. As alternativas estudadas revelaram a real necessidade de modernização do planejamento de infraestruturas de transportes incluindo análises interdisciplinares que transcendem a perspectiva tradicional da engenharia.

Dado o alto grau de vulnerabilidade socioambiental da região, que contém importantes unidades de conservação e terras indígenas altamente pressionadas pelo crescimento e intensificação da atividade humana, os resultados deste estudo destacam a necessidade de uma abordagem holística e transversal na gestão do planejamento de transportes. Essa abordagem deve envolver diferentes entidades e setores para garantir que os impactos ambientais e sociais sejam minimizados e que as preocupações com a conservação da natureza e o bem-estar das comunidades locais sejam adequadamente consideradas.

## **5.2 - Modelagem topológica vetorial de rotas e macrobacias logísticas**

Este modelo tem o propósito de produzir mapas das rotas de transporte de cargas segundo agrupamentos propostos pela EPL para diferentes cenários logísticos para apoiar na fase anterior ao planejamento e execução de estudos de viabilidade econômica, técnica e ambiental, na proposição de infraestruturas lineares de transporte.

A hipótese é de que a modelagem geográfica poderia fornecer dados espaciais para servir de apoio ao planejamento sustentável indicando trechos onde a alteração do volume de carga poderia trazer impactos socioambientais evitáveis ou sugerir a necessidade de intervenções na infraestrutura, além de mapear as bacias logísticas dos portos utilizados, não apenas para exportação, mas para cabotagem também.

### **5.2.1 - Caracterização do problema**

O custo de transporte de granéis sólidos agrícolas pode chegar a 28% do valor do produto para os produtores do centro oeste brasileiro (COSTA, 2013), dependendo do destino do produto. Com o objetivo de reduzir este custo e promover a interligação da rede de infraestrutura de transporte por meio de ferrovias, foram propostos projetos de implantação da EF-170 (Ferrovia Ferrogrão), EF-354 (Ferrovia-FICO), EF-334 (Ferrovia FIOL), EF-232 e EF-116 (Ferrovia Nova Transnordestina) e a Malha Norte da Ferrovia RUMO.

Contudo, existe a preocupação de que estes projetos abordem apenas a economia dos custos, deixando à margem questões ambientais como a redução do consumo de combustível e dos gases de efeito estufa<sup>8</sup> as alterações diretas ou indiretas, causadas ao meio ambiente. Este estudo, visa possibilitar a avaliação de impactos sinérgicos e cumulativos não abordados em estudos de empreendimentos de infraestrutura de transporte, ignorados pelo PNL 2035.

---

<sup>8</sup> Análises de cenários de redução de consumo de combustível e geração de gases de efeito estufa não fazem parte do escopo da presente pesquisa, cujo ponto focal está nas transformações induzidas na paisagem.

### 5.2.2 - Desenho metodológico

O trabalho envolve estudos realizados amplitude do território nacional, porém com variações regionais induzidas a partir da consideração de cenários específicos que incluem as ferrovias estruturantes brasileiras propostas no PLN2035. Esta pesquisa recorre a modelagem topológica de rotas e macrobacias logística dos portos, apresentada na seção 4.2. Uma das justificativas da pesquisa foi a de reproduzir a modelagem das rotas a partir de dados semelhantes aos apresentados pela EPL, explicitando o modelo, os dados e as regras para a sociedade, além de prover um parâmetro para avaliação e balizamento dos resultados reportados pelo Ministério da Infraestrutura que podem ter grande influência nos processos de tomada de decisão em todo o território nacional.

Ao todo, foram desenvolvidos 8 ensaios, denominados cenários, com variação na configuração dos agrupamentos. Os ensaios utilizaram a geometria das ferrovias como propostas e dispostas na base de dados da EPL, exceto o cenário 8 para o qual foi criado uma situação hipotética na qual as ferrovias EF-354 FICO e EF-334 FIOLO são conectadas em um ponto comum na EF-151 Ferrovia Norte-Sul. A Figura 54 sintetiza o fluxograma de funcionamento do modelo.

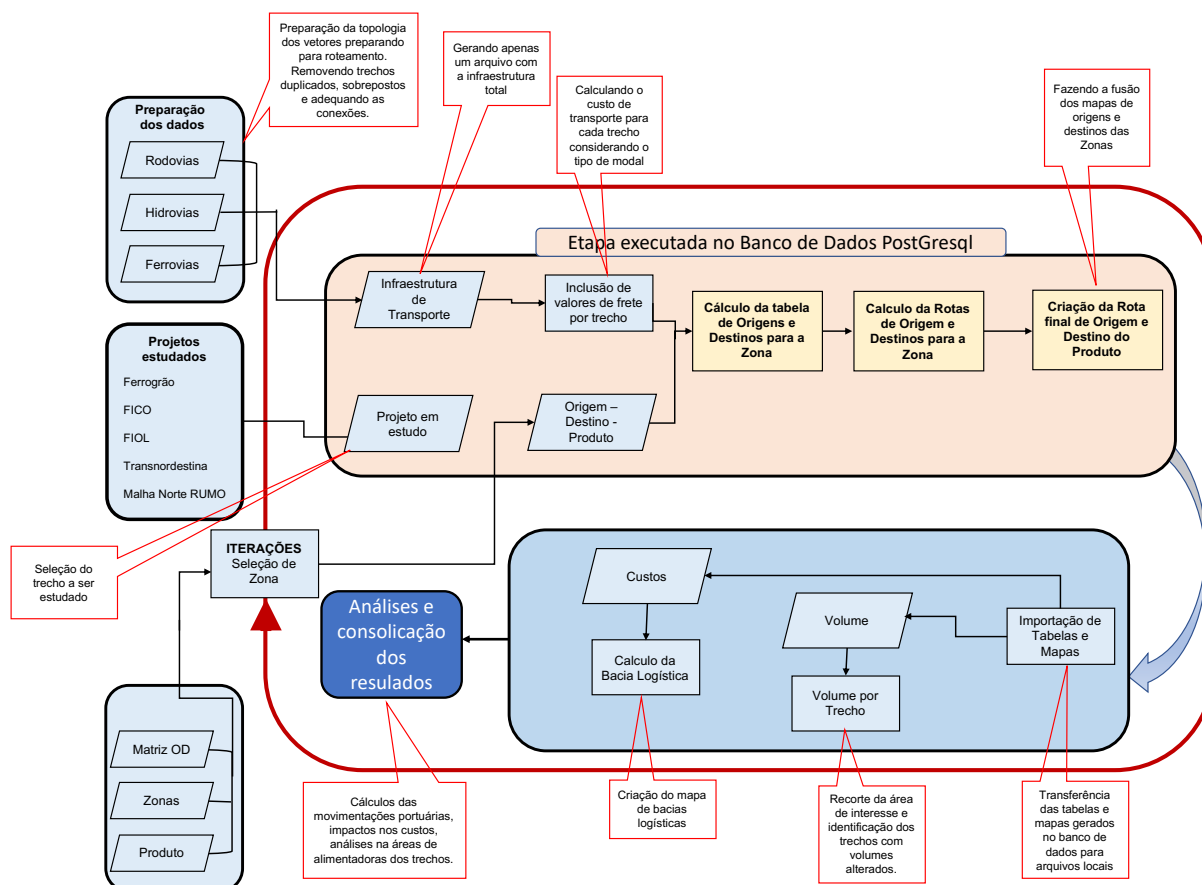


Figura 54: Fluxograma comentado do modelo

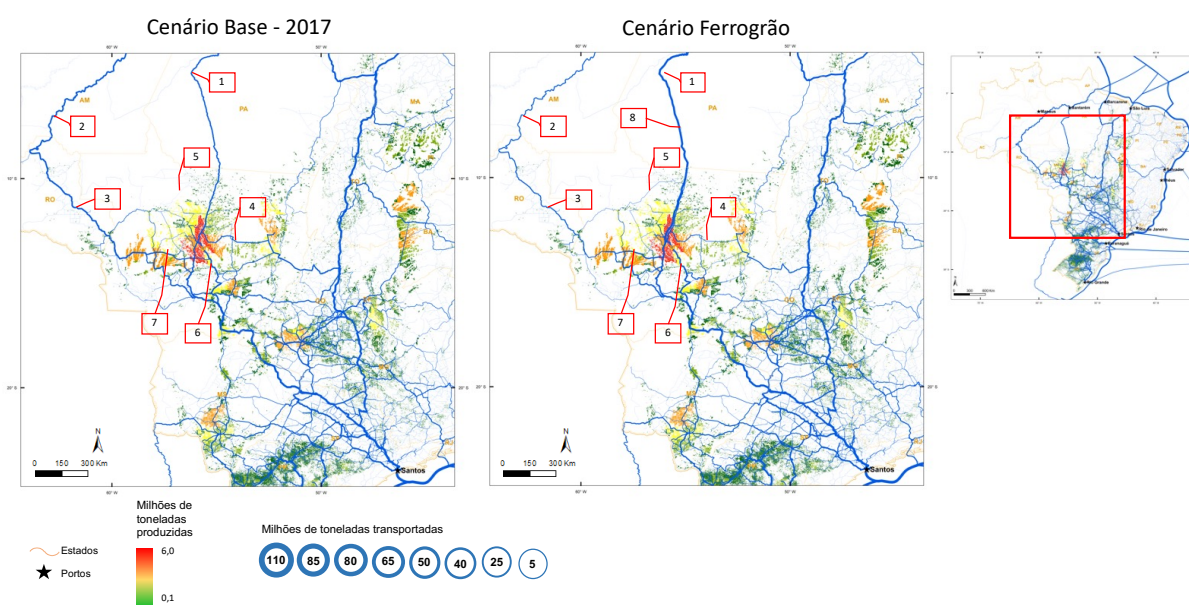
### 5.2.3 - Cenário 1: Ferrogrão

A instalação de Estações de Transbordo de Carga (ETCs) no distrito de Miritituba, em Itaituba/PA, a partir de 2013, deu início a uma nova rota de escoamento de *commodities* agrícolas pela Amazônia. Nessa perspectiva, a construção da ferrovia EF-170, Ferrogrão, emerge com o potencial de consolidação desse Corredor Logístico, reduzindo os custos de transporte das *commodities*. Todavia, deve ser considerado que a Ferrogrão, diferente de outros projetos, não interliga ao sistema ferroviário nacional<sup>9</sup>. Por outro lado, por se localizar na região Amazônica, sua construção e operação deverão gerar impactos socioambientais sobre áreas nas bacias dos rios Xingu e Tapajós consideradas críticas para a preservação florestal, manutenção hídrica e proteção de povos indígenas. Um importante desafio para a

<sup>9</sup> A EF-170 Ferrogrão precisaria ser estendida 150km ao sul para conectar com a EF-354 FICO em Lucas do Rio Verde. A região é polo de produção de grãos, com topografia plana e predomínio de áreas antropizadas, portanto não sendo explícita e clara a justificativa de mantê-la fora da malha nacional.

análise de obras de infraestrutura consiste na definição do alcance geográfico de seus impactos.

Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem a Ferrogrão e aqueles com a ferrovia e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano. O fluxo de carga do cenário atual e os resultados para os cenários que incluem a Ferrogrão são mostrados na Figura 55 em oito pontos importantes, com destaque para a região da BR163 e Ferrogrão. A Tabela 11 resume o volume de cargas dos trechos mais impactados caso a Ferrogrão estivesse em operação.



**Figura 55:** Fluxo de carga por trecho – Cenário Base X Ferrogrão

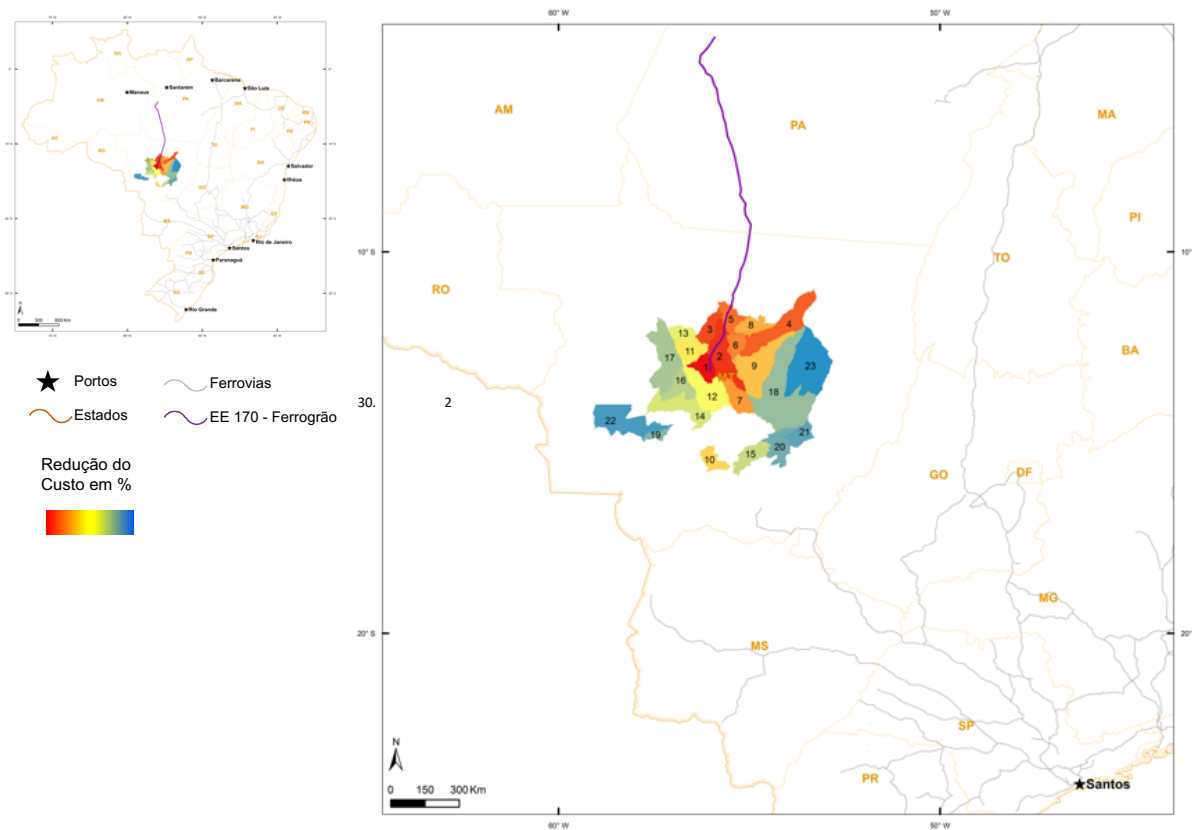
**Tabela 11:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenário Base X Ferrogrão

TRECHO	CENÁRIO	
	BASE (Mtons)	FERROGRÃO (Mtons)
1 BR 163	7,90	0,01
2 Hidrovia R. Madeira	14,10	3,00
3 BR 364	14,50	3,50
4 BR 242 - MT	3,00	0,84
5 MT 325	0,002	0,30
6 MT 485	10,00	12,01
7 MT 235	5,20	7,50
8 Ferrogrão	0	29,00

Percebe-se que a inserção da ferrovia provocaria alterações na dinâmica da malha de transportes regional, aumentando o fluxo de carga em algumas rodovias secundárias como a MT 325 ou reduzindo como no trecho da BR 242 no estado Mato Grosso e BR 364 no estado de Rondônia. Ressalta-se a importância da Hidrovia do Rio Madeira no transporte de cargas agrícolas do estado do Mato Grosso que tem redução significativa no trânsito de barcaças, reflexo direto da redução de cargas na BR 364. O potencial de atração de carga da ferrovia gera maior demanda sobre rodovias estaduais, que são mais mobilizadas para o transporte entre os municípios produtores e as estações da ferrovia, ao passo que desafoga o fluxo em outras rodovias, como a BR-163, que perde a carga de transporte graneleiro, com potencial para apenas uso local.

### **Municípios beneficiados pela redução do custo de transporte com a implementação da Ferrogrão**

A modelagem dos cenários da implantação da Ferrogrão aponta variações no custo acumulado de transporte, beneficiando 23 municípios do estado de Mato Grosso (Tabela 12). O resultado das variações por município demonstra que a implementação da ferrovia provocaria redução percentual por município de 2% a 30% (Figura 56).



**Figura 56:** Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Ferrogrão



**Tabela 12:** Municípios impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Ferrogrão

ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	LUCAS DO RIO VERDE	MT	30%
2	SORRISO	MT	27%
3	IPIRANGA DO NORTE	MT	26%
4	FELIZ NATAL	MT	24%
5	SINOP	MT	23%
6	VERA	MT	22%
7	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	18%
8	SANTA CARMEM	MT	16%
9	NOVA UBIRATA	MT	16%
10	CUIABA	MT	13%
11	TAPURAH	MT	12%
12	NOVA MUTUM	MT	12%
13	ITANHANGA	MT	9%
14	DIAMANTINO	MT	9%
15	CAMPO VERDE	MT	7%
16	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	6%
17	NOVA MARINGA	MT	5%
18	PARANATINGA	MT	5%
19	NOVA OLIMPIA	MT	3%
20	PRIMAVERA DO LESTE	MT	3%
21	SANTO ANTONIO DO LESTE	MT	2%
22	TANGARA DA SERRA	MT	2%
23	GAUCHA DO NORTE	MT	2%

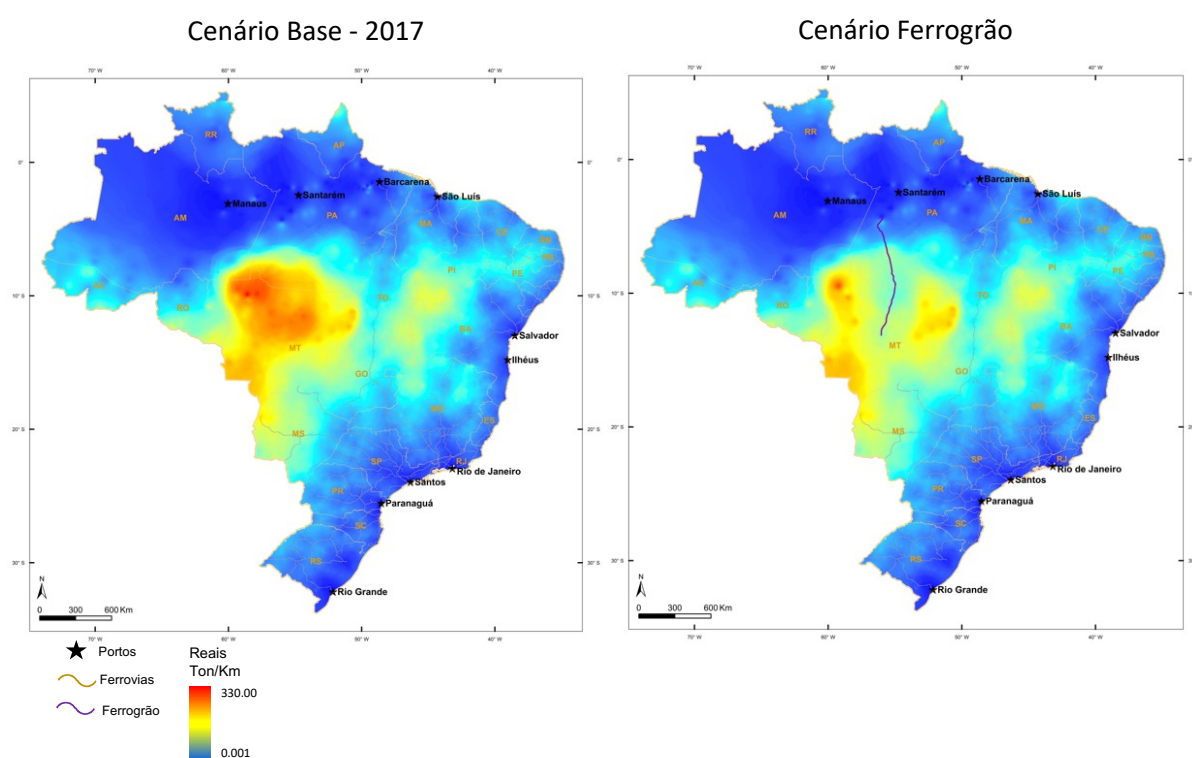
A Ferrogrão provoca alterações no custo de transporte (Figura 57) e também, nas bacias logística dos portos (Figura 58) causando alterações na movimentação de produtos GSA (Tabela 13). O aumento de 246% na quantidade de carga no Porto de Santarém, sugere a necessidade de ampliação da capacidade o porto que hoje é de apenas 5 Mtons.

**Tabela 13:** Portos impactados– Cenários Base X Ferrogrão

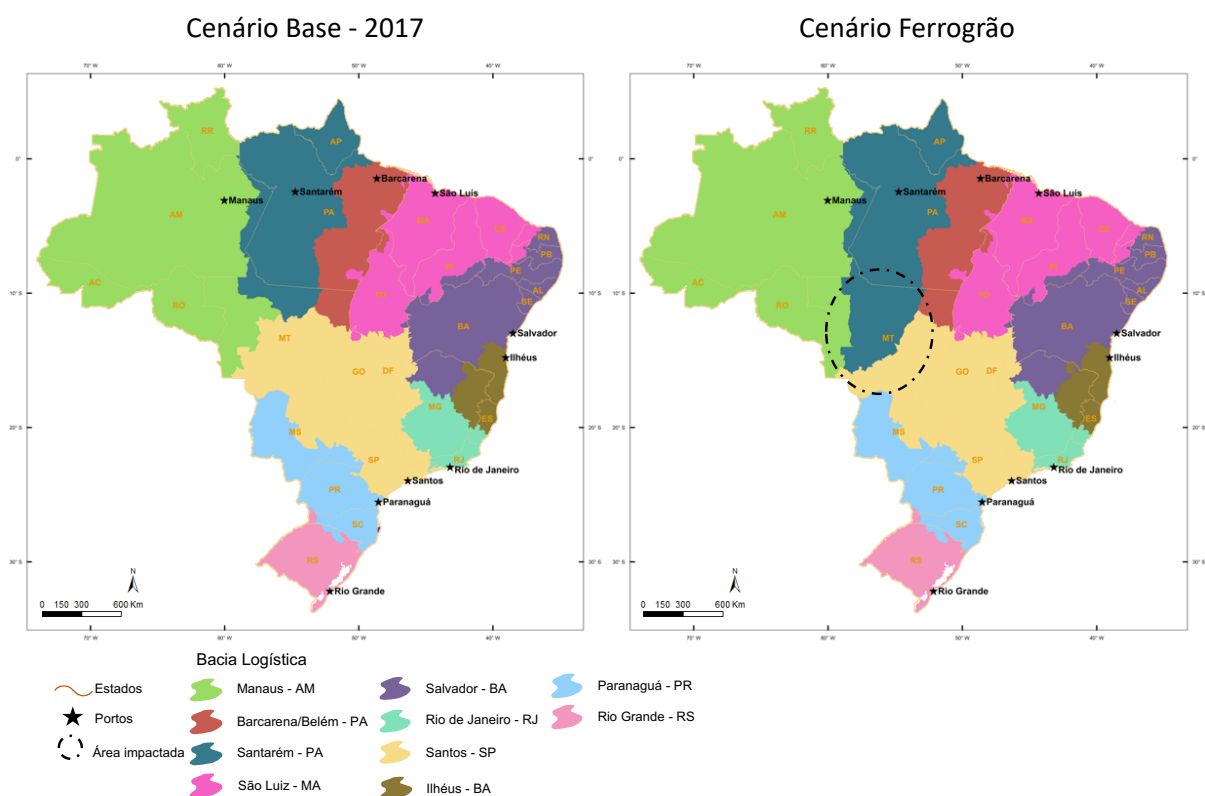
	PORTO	CENÁRIO		VARIÇÃO
		BASE	FERROGRÃO	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22,10	19,90	10% ↓
2	Santarém - PA	8,00	27,90	246% ↑
3	Santos - SP	54,60	52,60	4% ↓
4	São Luis - MA	18,80	13,30	29% ↓

Considere-se, ainda, a estação de transbordo de carga no distrito de Miritituba no Pará, região extremamente estratégica para a exportação de *commodities* brasileiras.

O distrito de Miritituba, com apenas 15 mil habitantes, chega a receber até 1500 carretas de soja por dia na alta safra, vindas do estado de Mato Grosso (OLIVEIRA, 2019). A produção é escoada pelas águas do rio Tapajós até os portos de Santana (AP), Barcarena e Santarém (PA), fazendo assim um caminho mais curto que o da produção quando exportada por via dos portos do sul e sudeste do país. Neste caso, necessário é a ampliação da estação ou a implantação de ponte para travessia do Rio Tapajós que atualmente é feita por balsa.



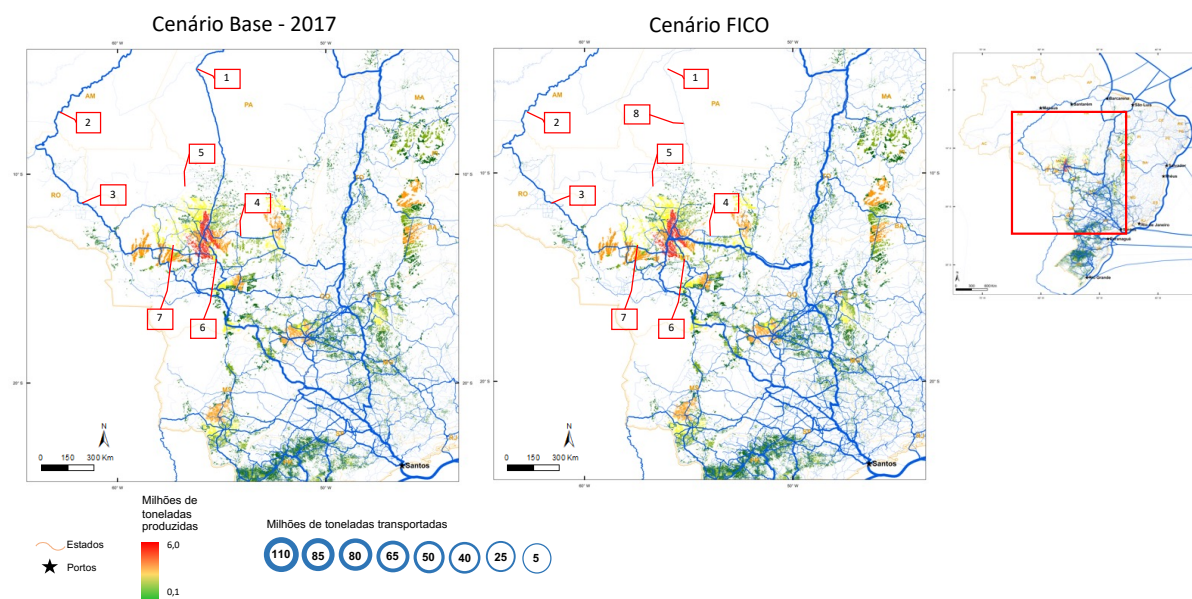
**Figura 57:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Ferrogrão



**Figura 58:** Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X Ferrogrão

#### 5.2.4 - Cenário 2: Ferrovia Integração Centro Oeste - FICO

Este estudo adotou o trecho que liga o município de Mara Rosa–GO a Sorriso–MT. Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem a FICO e aqueles com a ferrovia, e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 59). Na Tabela 14 apontamos os trechos mais impactados caso a FICO estivesse em operação.



**Figura 59:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO

**Tabela 14:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Ferrogrão

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	FICO (Mtons)
1	BR 163	7,90	0,004
2	Hidrovia R. Madeira	14,10	6,20
3	BR 364	14,50	6,79
4	BR 242 - MT	3,00	0,79
5	MT 325	0,002	0,002
6	MT 485	10,00	5,60
7	MT 235	5,20	8,25
8	Ferrovia Norte Sul	36,50	54,20
9	FICO	0	40,30

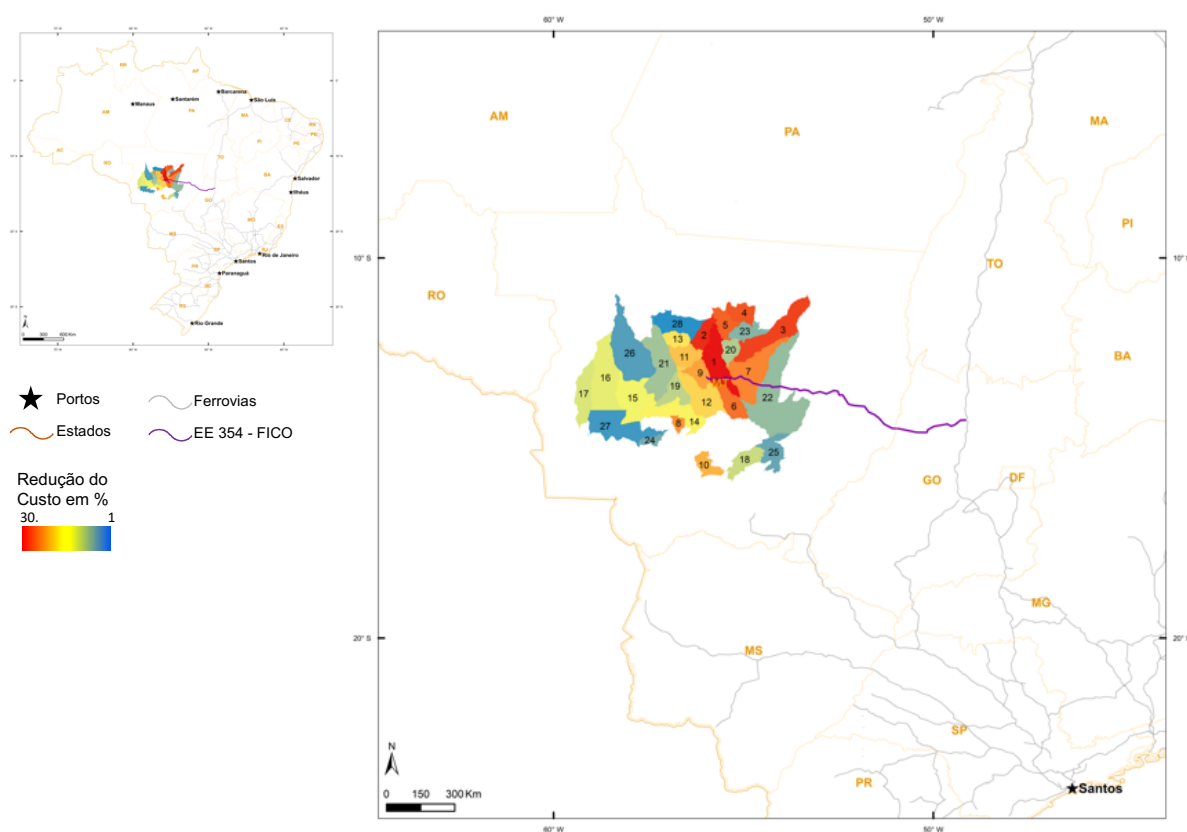
Podemos observar nove pontos importantes, novamente, com destaque para a região da BR163 e FICO. Também neste cenário, a inserção da ferrovia provocaria alterações na dinâmica da malha de transportes regional. Porém, o maior impacto de carga acontece na Ferrovia Norte-Sul. Isto já seria esperado, já que o objetivo do projeto é a interligação do Centro Oeste brasileiro à malha ferroviária já implantada. Ressalta-se a importância da Hidrovia do Rio Madeira no transporte de cargas agrícolas do estado do Mato Grosso que tem redução significativa, cerca de 50% da carga atual, reflexo direto da redução de cargas na BR 364. Assim como no cenário da Ferrogrão, o potencial de atração de carga da ferrovia gera maior demanda sobre rodovias estaduais, que são mais mobilizadas para o transporte entre os municípios

produtores e as estações da ferrovia, ao passo que desafoga o fluxo em outras rodovias, como a BR-163, que perde a carga de transporte graneleiro, com potencial para apenas uso local.

A modelagem dos cenários da implantação da FICO aponta variações no custo acumulado de transporte, beneficiando 28 municípios do estado de Mato Grosso (Tabela 15). O resultado das variações por município demonstra que a implementação da ferrovia provocaria redução percentual por município de 1% a 30% (Figura 60).

**Tabela 15:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X FICO

ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	SORRISO	MT	30%
2	IPIRANGA DO NORTE	MT	30%
3	FELIZ NATAL	MT	28%
4	CLAUDIA	MT	27%
5	SINOP	MT	27%
6	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	22%
7	NOVA UBIRATA	MT	20%
8	NORTELANDIA	MT	19%
9	LUCAS DO RIO VERDE	MT	19%
10	CUIABA	MT	17%
11	TAPURAH	MT	16%
12	NOVA MUTUM	MT	16%
13	ITANHANGA	MT	13%
14	DIAMANTINO	MT	13%
15	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	12%
16	SAPEZAL	MT	12%
17	CAMPOS DE JULIO	MT	12%
18	CAMPO VERDE	MT	11%
19	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	11%
20	VERA	MT	10%
21	NOVA MARINGA	MT	10%
22	PARANATINGA	MT	10%
23	SANTA CARMEM	MT	8%
24	NOVA OLIMPIA	MT	8%
25	PRIMAVERA DO LESTE	MT	7%
26	BRASNORTE	MT	7%
27	TANGARA DA SERRA	MT	7%
28	PORTO DOS GAUCHOS	MT	1%



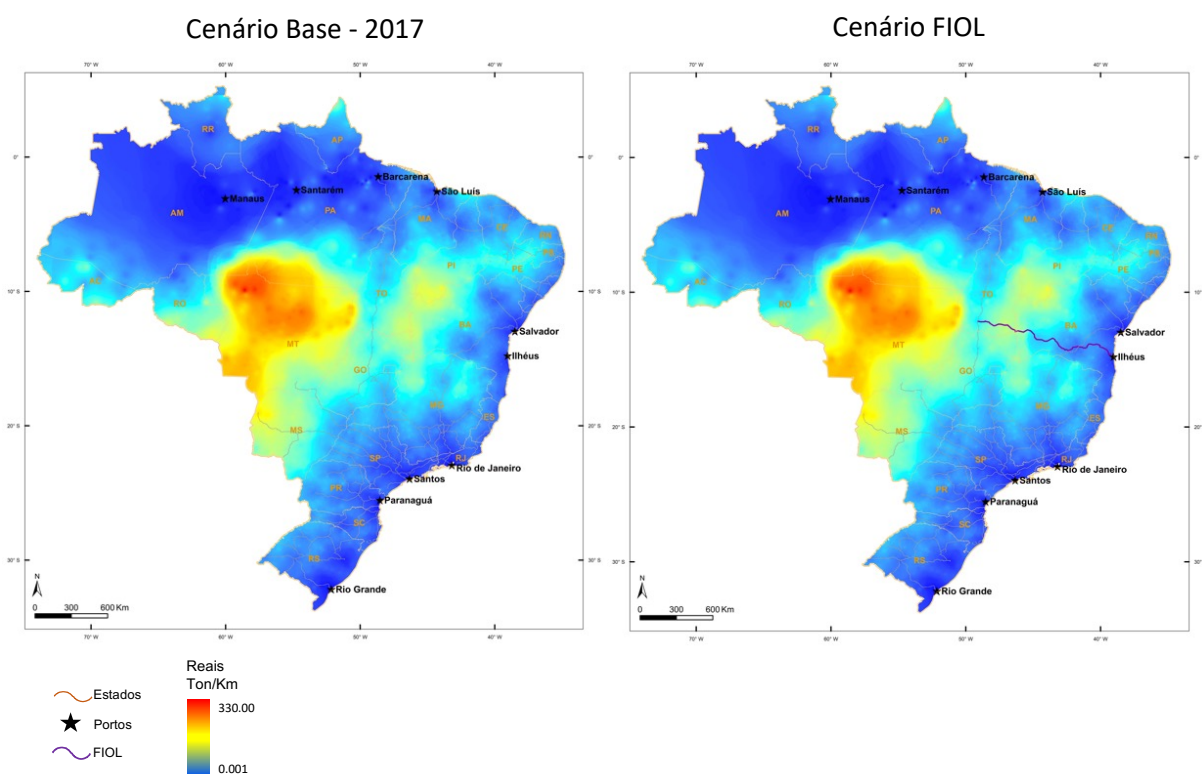
**Figura 60:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FICO

Além disso, a FICO provoca alterações no custo de transporte (Figura 61) e também nas bacias logísticas dos portos (Figura 62) causando alterações na movimentação de produtos GSA (Tabela 16). O fluxo de carga do estado do Mato Grosso, neste cenário, é desviado para os portos de Barcarena-PA e São Luís-MA, com aumento de 39% e 45% respectivamente. Há uma redução no porto de Santarém-PA e em Santos-SP, não há alterações significativas.

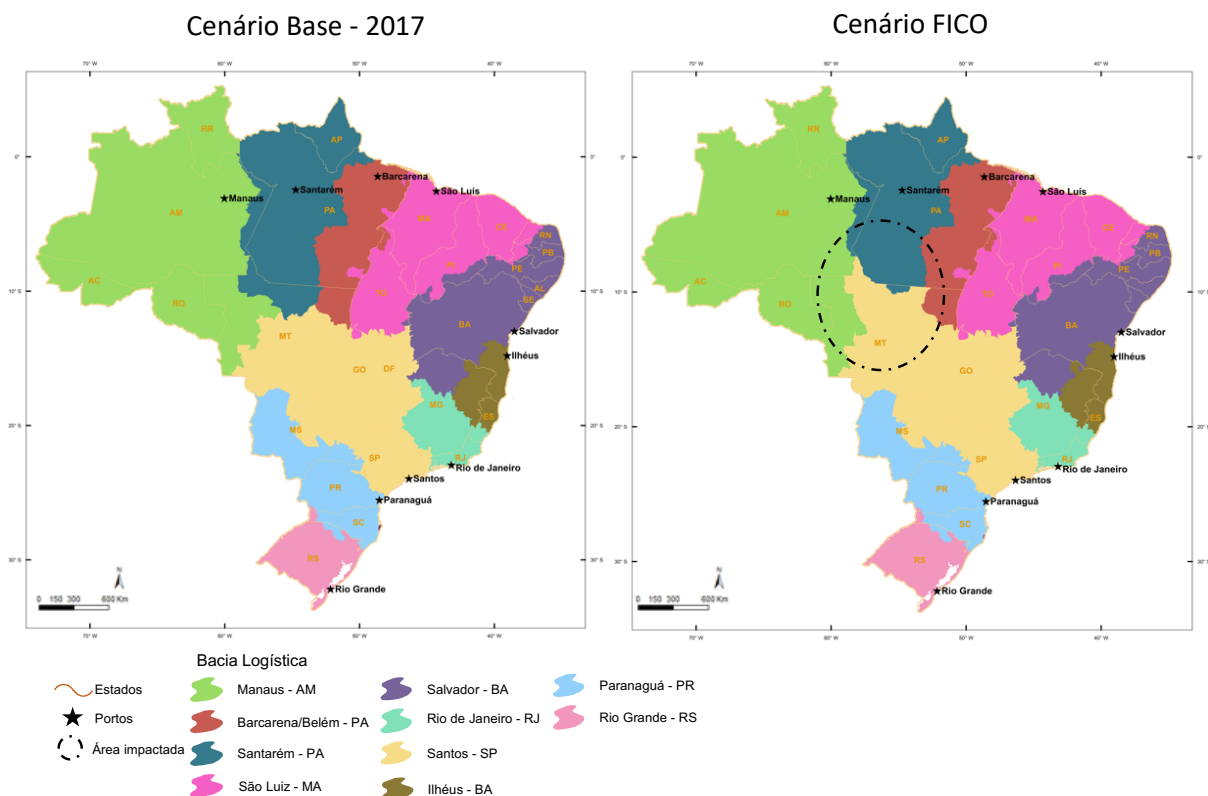
**Tabela 16:** Portos impactados– Cenários Base X Cenário FICO

	PORTO	CENÁRIO		VARIÇÃO
		BASE	FICO	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22,10	30,72	39% ↑
2	Santarém - PA	8,00	0,20	98% ↓
3	Santos - SP	54,60	52,80	3% ↓
4	São Luis - MA	18,80	27,30	45% ↑

Com o resultado do modelo é possível notar que a bacia logística do porto de Santos aumenta consideravelmente, porém, reduz a quantidade embarcada, o que explica o aumento do volume nos portos de São Luis-MA e Barcarena-PA. Isso indica que o destino final dos produtos transportados são os Estados Unidos e a Europa, e que em função da menor distância, apresentam com custos menores quando exportados pelos portos do Norte.

**Figura 61:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário FICO





**Figura 62:** Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X FICO

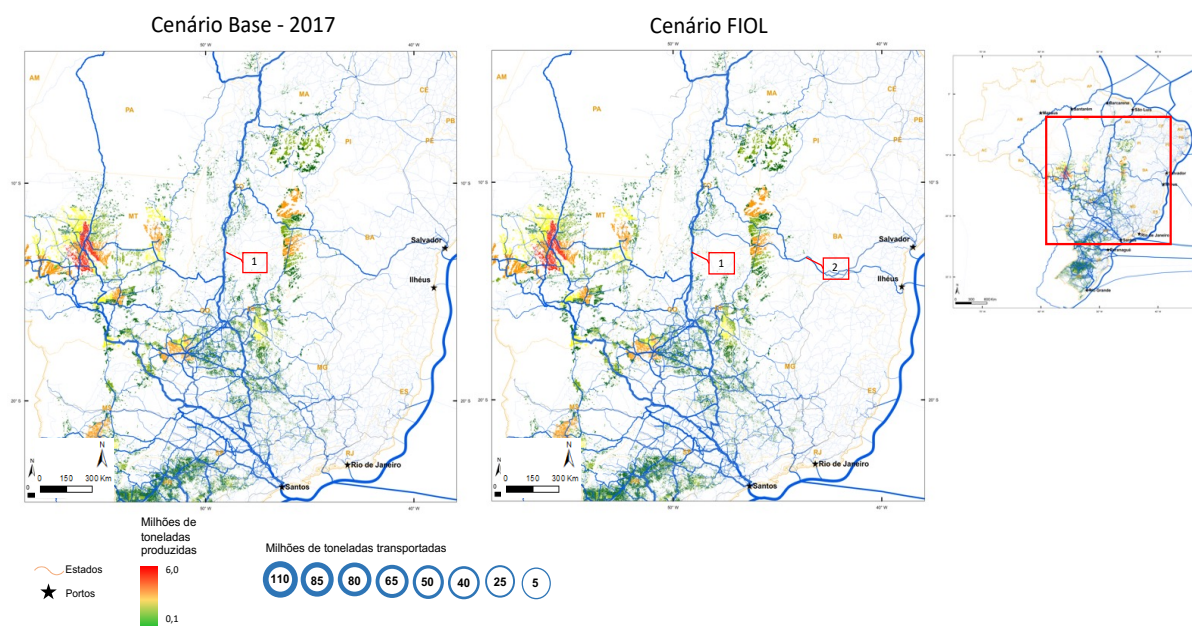
### 5.2.5 - Cenário 3: Ferrovia Integração Oeste Leste – FIOLE

Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem a FIOLE e aqueles com a ferrovia e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 63), na Tabela 17, apontamos os trechos mais impactados caso a FIOLE estivesse em operação. É possível constatar que, a FIOLE, tem maior participação na movimentação de cargas para a FNS, com destino ao Norte ou Sudeste se comparado à movimentação no Porto de Ilhéus–BA, seu principal objetivo.

**Tabela 17:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FIOLE

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	FIOLE (Mtons)
1	Ferrovia Norte Sul	36,50	38,90
2	FIOLE	0	1,80



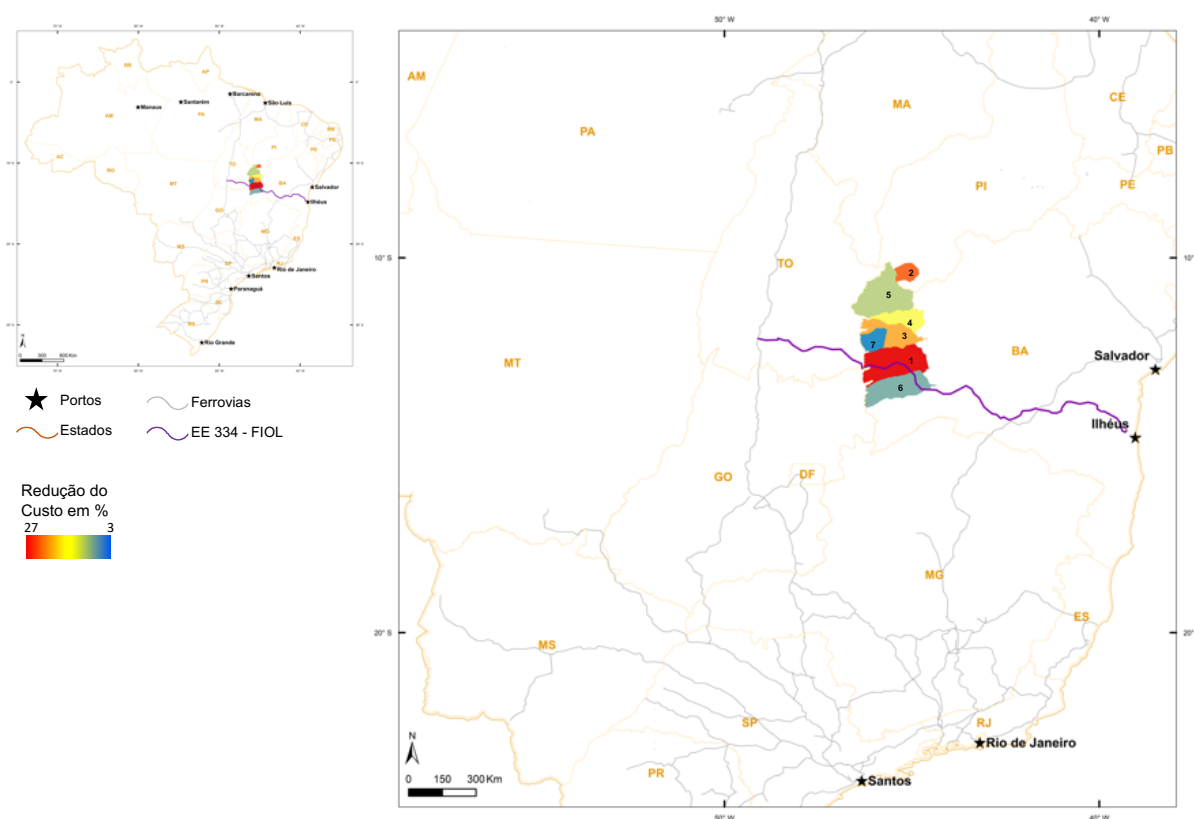


**Figura 63:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FIOl

A modelagem dos cenários da implantação da FIOl aponta variações no custo acumulado de transporte, beneficiando 7 municípios, sendo 6 no estado da Bahia e um no Piauí (Tabela 18). O resultado das variações por município demonstra que a implementação da ferrovia provocaria redução percentual por município de 3% a 27% (Figura 64), quando incluídos dois pontos de embarque de mercadorias. Sem a inclusão destes pontos, não há movimentação de carga na ferrovia.

**Tabela 18:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FIOl

ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	SÃO DESIDÉRIO	BA	27%
2	CORRENTE	PI	25%
3	BARREIRAS	BA	12%
4	RIACHÃO DAS NEVES	BA	12%
5	FORMOSA DO RIO PRETO	BA	11%
6	CORRENTINA	BA	4%
7	LUIS EDUARDO MAGALHÃES	BA	3%



**Figura 64:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário FIOIOL

Os resultados indicam que FIOIOL provoca alterações no custo de transporte no leste do país (Figura 65) e também nas bacias logística dos portos (Figura 66), contudo não causa alterações na movimentação de produtos GSA (Tabela 19), nos portos.

**Tabela 19:** Portos potencialmente impactados– Cenários Base X FIOIOL

PORTO		CENÁRIO		VARIÇÃO
		BASE	FIOIOL	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22.10	22.10	0%
2	Santarém - PA	8.00	8.00	0%
3	Santos - SP	54.60	54.60	0%
4	Ilhéus - BA	1.95	1.95	0%

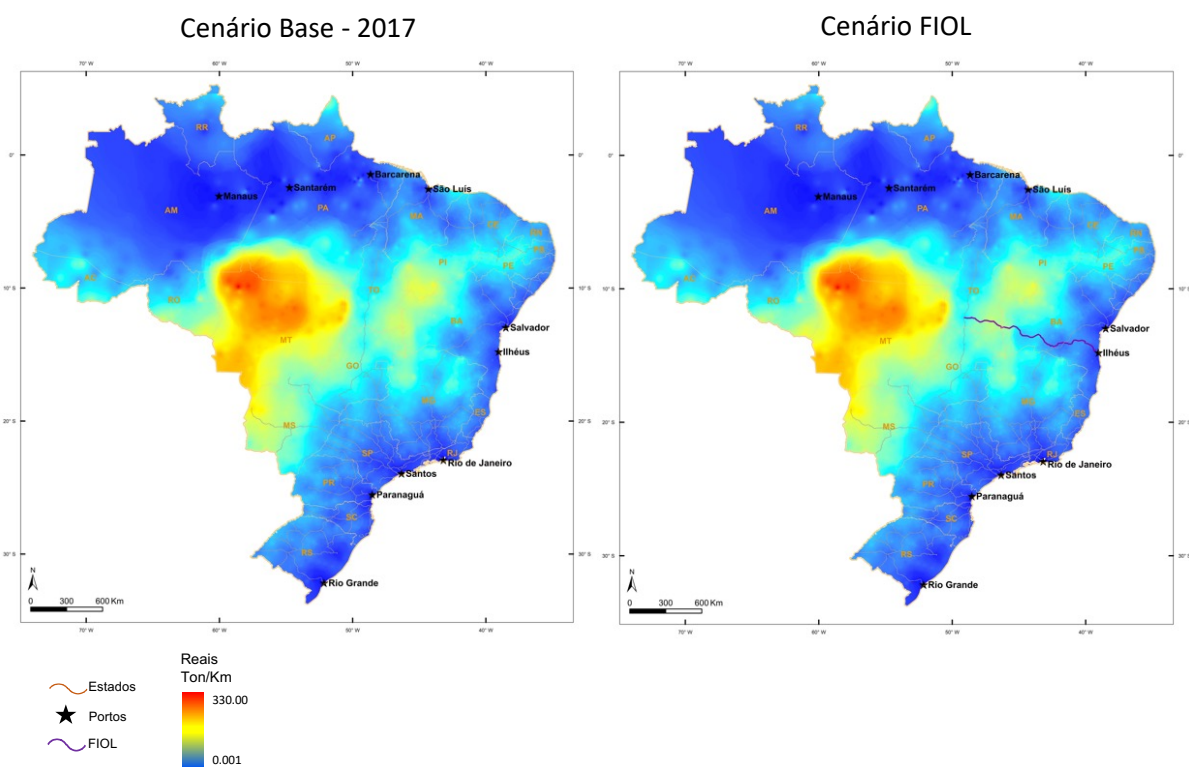


Figura 65: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário FIOI

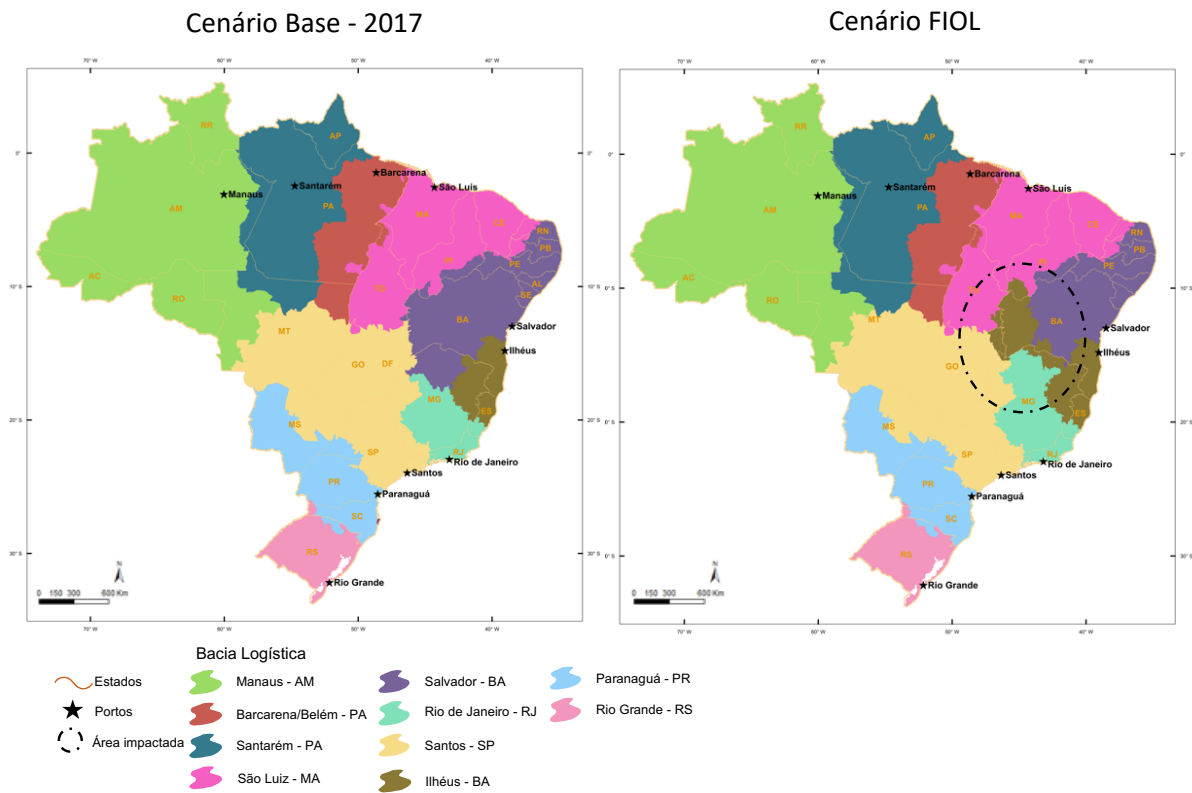
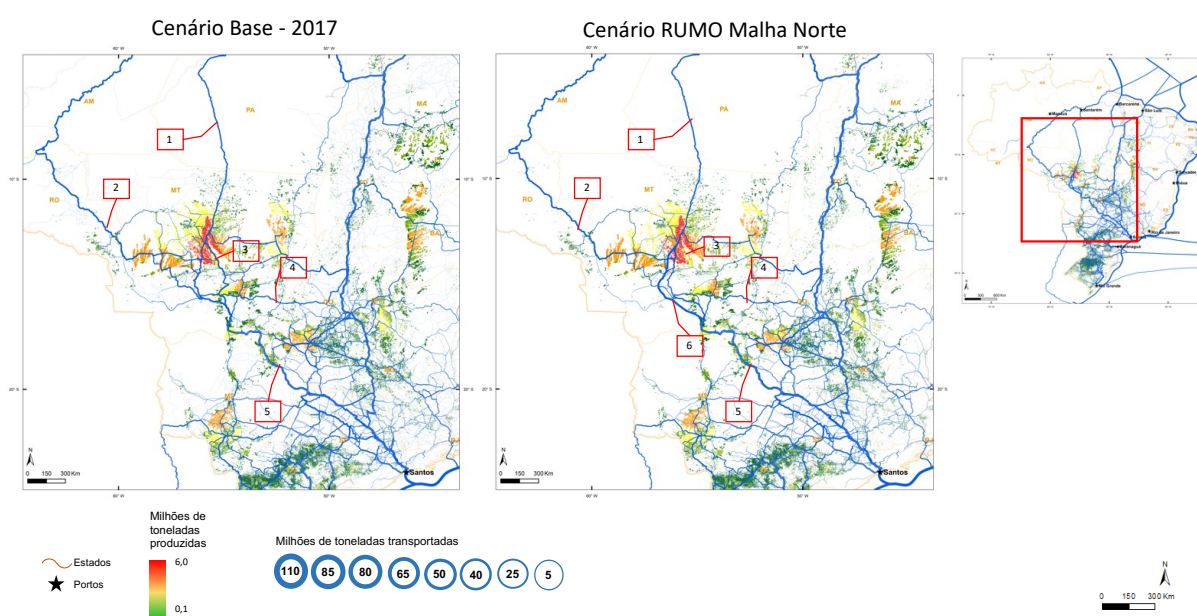


Figura 66: Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X FIOI

### 5.2.6 - Cenário 4: Ferrovia RUMO Malha Norte

Neste estudo foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem a Rumo Malha Norte e aqueles com a ferrovia, e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 67), na Tabela 20, apontamos os trechos mais impactados caso a Malha Norte da Rumo estivesse em operação. É possível constatar que este trecho tem maior participação em movimentar cargas para os portos do Sul ou Sudeste se comparado a movimentação para os portos do Norte.

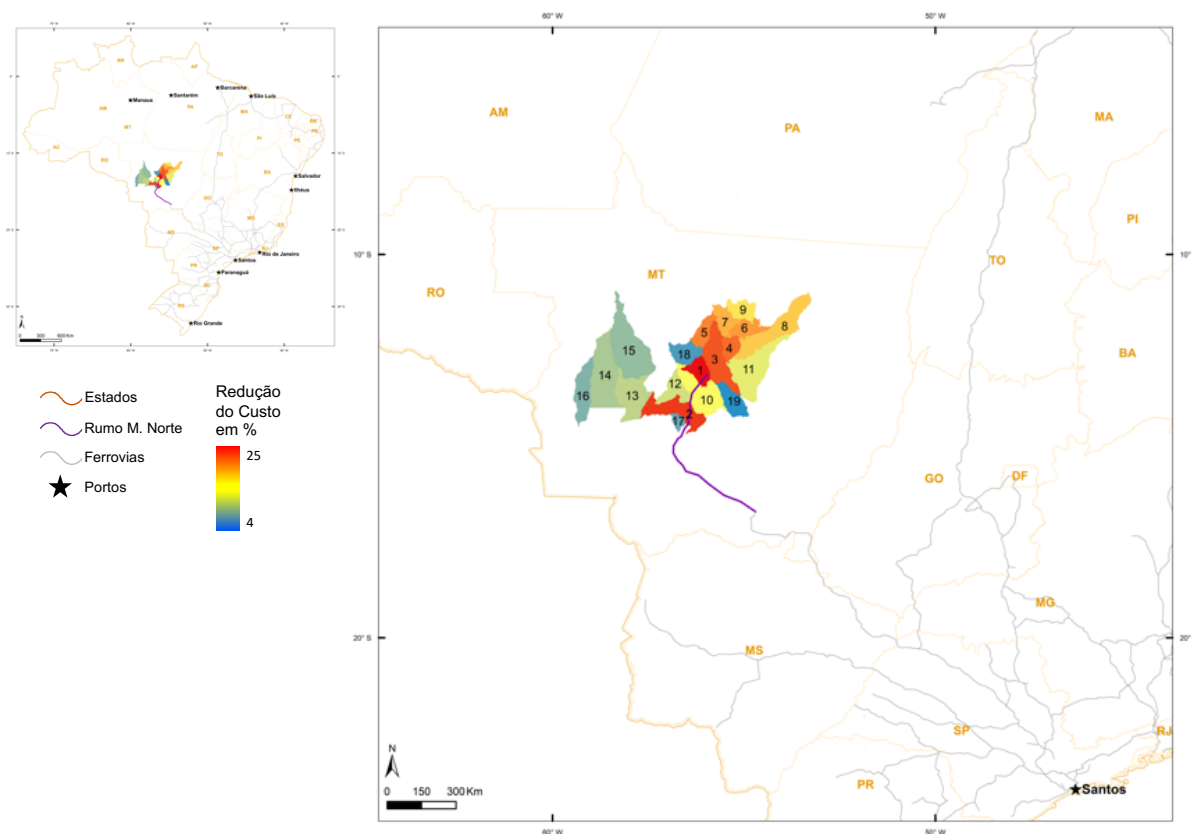


**Figura 67:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Rumo Malha Norte

**Tabela 20:** Redução do fluxo de carga por trecho– Cenários Base X Rumo Malha Norte

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	Rumo Norte (Mtons)
1	BR 163	7,90	5,72
2	BR 364	14,50	12,72
3	MT 485	10,00	2,10
4	BR 070	4,25	4,25
5	Rumo	35,95	42,80
6	Rumo Malha Norte	0,000	26,40

A modelagem dos cenários da implantação do trecho Rumo Malha Norte aponta variações no custo acumulado de transporte beneficiando 19 municípios, sendo todos no estado do Mato Grosso. (Tabela 21). O resultado das variações por município demonstra que a implementação da ferrovia provocaria redução percentual no custo de transporte por município de 4% a 25% (Figura 68).



**Figura 68:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Rumo Malha Norte

**Tabela 21:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Rumo Malha Norte

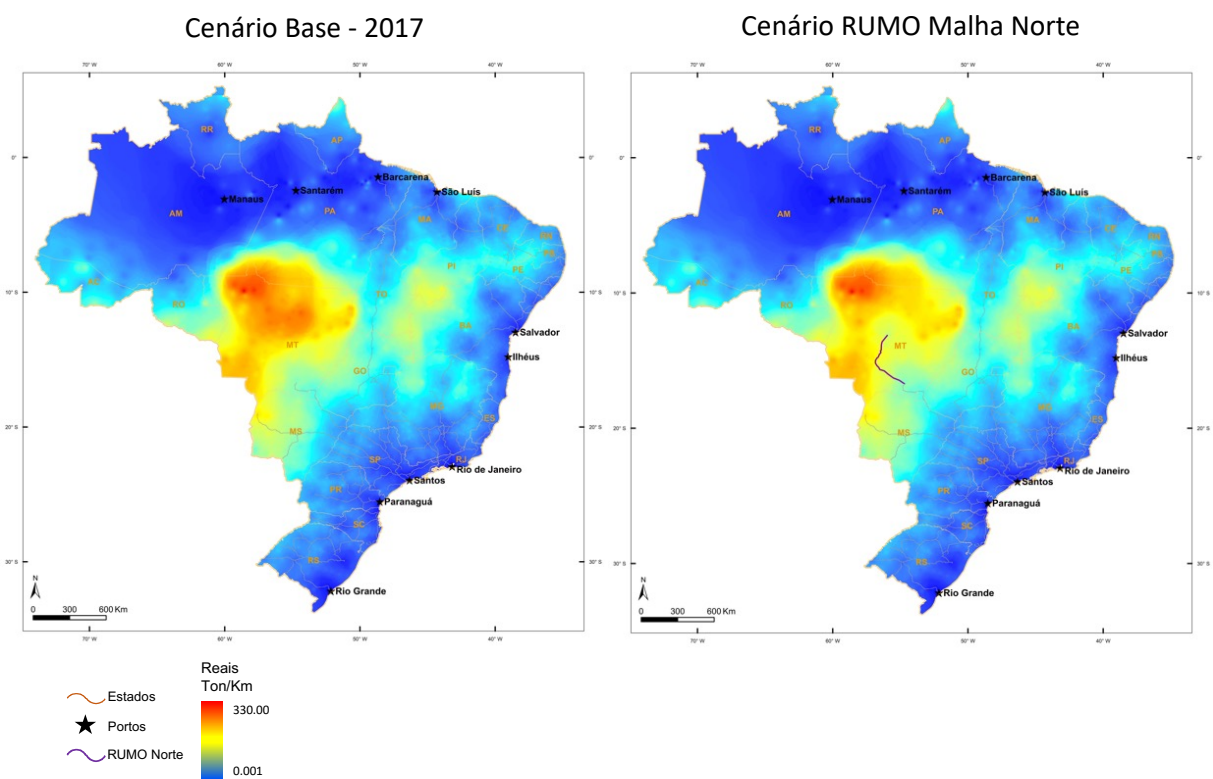
ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	LUCAS DO RIO VERDE	MT	25%
2	DIAMANTINO	MT	24%
3	SORRISO	MT	23%
4	VERA	MT	23%
5	IPIRANGA DO NORTE	MT	23%
6	SANTA CARMEM	MT	22%
7	SINOP	MT	22%
8	FELIZ NATAL	MT	21%
9	CLÁUDIA	MT	21%
10	NOVA MUTUM	MT	20%
11	NOVA UBIRATÃ	MT	20%
12	SÃO JOSÉ DO RIO CLARO	MT	16%
13	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	14%
14	SAPEZAL	MT	14%
15	BRASNORTE	MT	14%
16	CAMPOS DE JÚLIO	MT	13%
17	NORTELÂNDIA	MT	12%
18	TAPURAH	MT	8%
19	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	4%

Os resultados indicam que a operação da ferrovia Rumo Malha Norte provoca alterações no custo de transporte (Figura 69) nos municípios do Mato Grosso e nas bacias logística dos portos (Figura 70), contudo os resultados mostram um impacto maior no porto de São Luís – MA se comparado ao Porto de Santos – SP reduzindo a carga no Porto de Santarém – PA (Tabela 22).

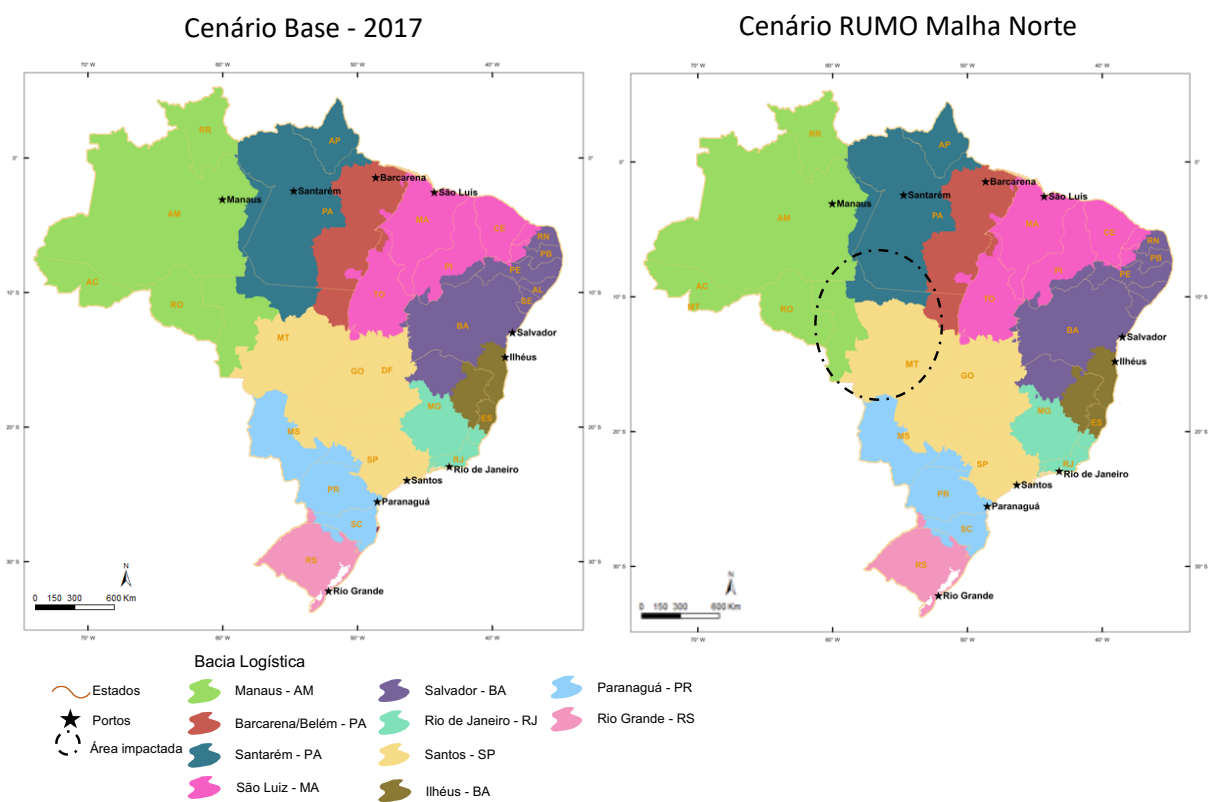
**Tabela 22:** Portos impactados– Cenários Base X RUMO Malha Norte

PORTO		CENÁRIO		VARIAÇÃO
		BASE	Rumo Norte	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22.10	22.10	0%
2	Santarém - PA	8.00	5.90	26% ↓
3	Santos - SP	54.60	55.70	2% ↑
4	São Luis - MA	18.80	20.00	6% ↑





**Figura 69:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário RUMO Malha Norte



**Figura 70:** Bacias logística dos portos – Cenários Base X Rumo Malha Norte

### 5.2.7 - Cenário 5: Ferrovia Transnordestina

Para este estudo, foi considerado o trecho que liga a FNS no município de Estreito no estado do Maranhão ao Porto de Suape em Pernambuco. A CSN e o Governo Federal estão construindo a ferrovia Transnordestina, partindo de Eliseu Martins, no Piauí, em direção aos portos do Pecém-CE e Suape-PE. Com capacidade para transportar 30 Mtons anuais com destaque para produtos do grupo GSM – Granéis Sólidos Minerais como o minério de ferro.

Para o grupo de produtos GSA, este projeto não altera o custo de transporte (Figura 71) e também não modifica as bacias logísticas ou beneficia algum município, na redução do custo de transporte (Figura 72). Porém, gera redução de cargas no Porto de São Luís-MA e aumenta no Porto de Recife-PE (Tabela 23).

**Tabela 23:** Portos impactados – Cenários Base X Transnordestina

PORTO		CENÁRIO		VARIÇÃO
		BASE	Transnordestina	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Recife - PE	0.56	0.78	38% ↑
2	São Luis - MA	18.80	18.60	1% ↓

Os resultados demonstram que o projeto da ferrovia Transnordestina não tem exclusivamente o objetivo de escoar cargas agrícolas do grupo GSA com origem na região Centro-Oeste, principalmente no estado do Mato Grosso. Além disso, os resultados não indicam mudanças significativas na área geográfica das macrobacias logísticas dessas commodities.

Embora hipotético, o cenário 5 computado para a ferrovia Transnordestina possui potencial para agregar ganhos logísticos para outras commodities como produtos de prospecção mineral, e que podem ser calculados a partir do modelo aqui apresentado, Cabe esclarecer que a Ferrovia Transnordestina não se encontra incluída no rol de cenários apresentados pela EPL para 2035,



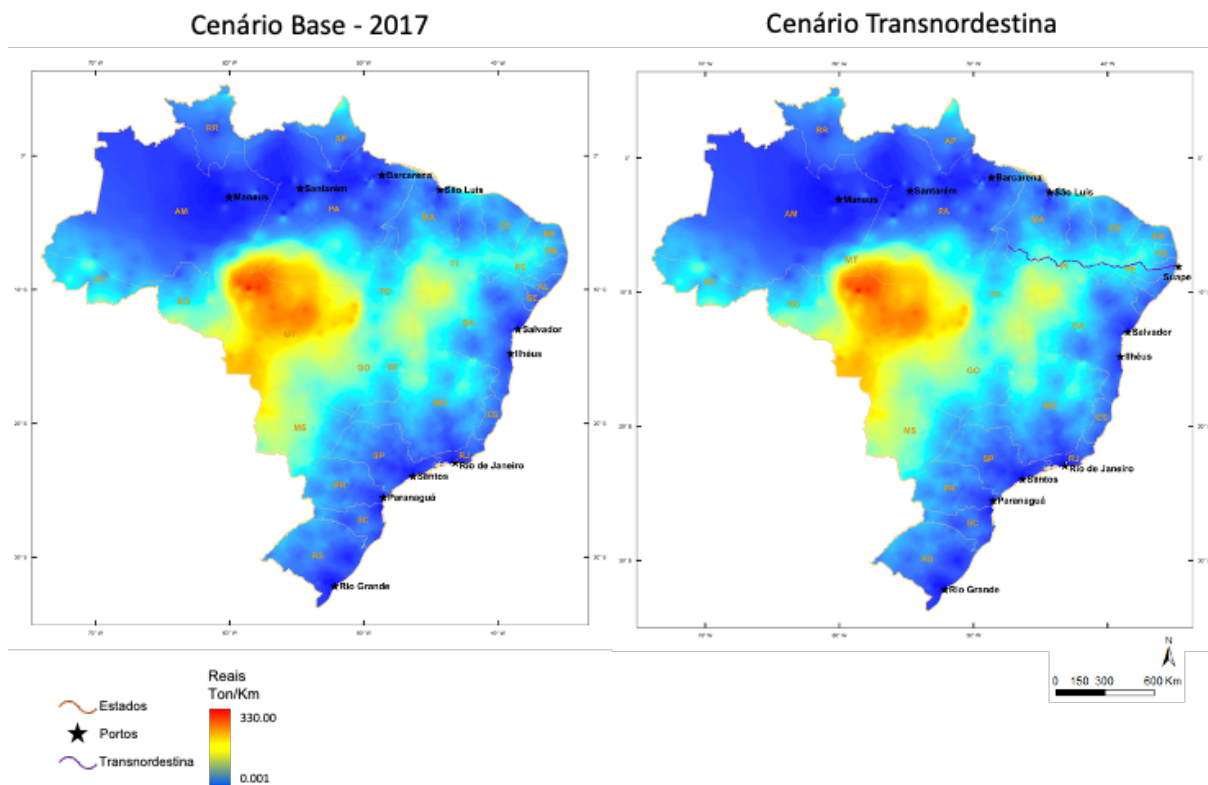


Figura 71: Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Transnordestina

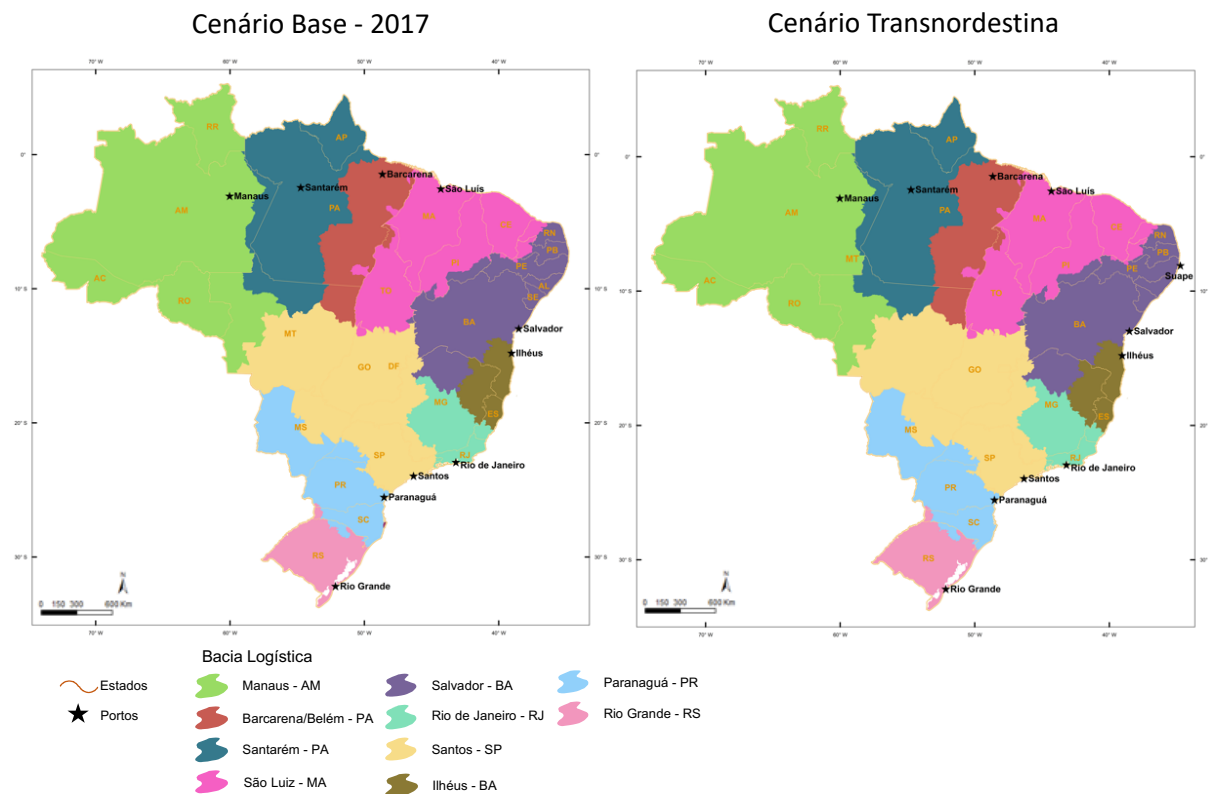
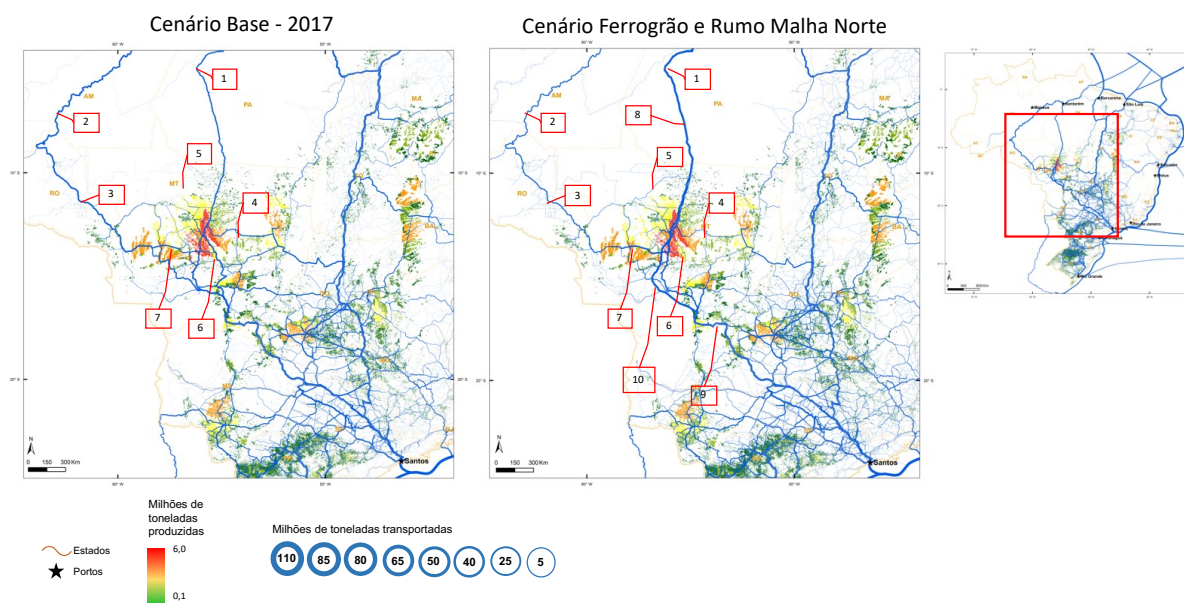


Figura 72: Bacias logística dos portos – Cenários Base X Cenário Transnordestina

### 5.2.8 - Cenário 6: Ferrogrão e Rumo Malha Norte

Este cenário inclui a Ferrogrão e analisa estes dois projetos juntos. Em qualquer combinação de cenários em que a Ferrogrão está incluída, ela vai exercer predominância no transporte, devido à proximidade e menor custo de transporte aos principais destinos de GSA. A distribuição das cargas de GSA entre os trechos é importante e não alteram o papel fundamental da Ferrovia Norte Sul na logística nacional, como pode ser observado na Tabela 24.

Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem os projetos e aqueles com os projetos e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 73), na Tabela 24, apontamos os trechos mais impactados caso os projetos estivessem em operação.

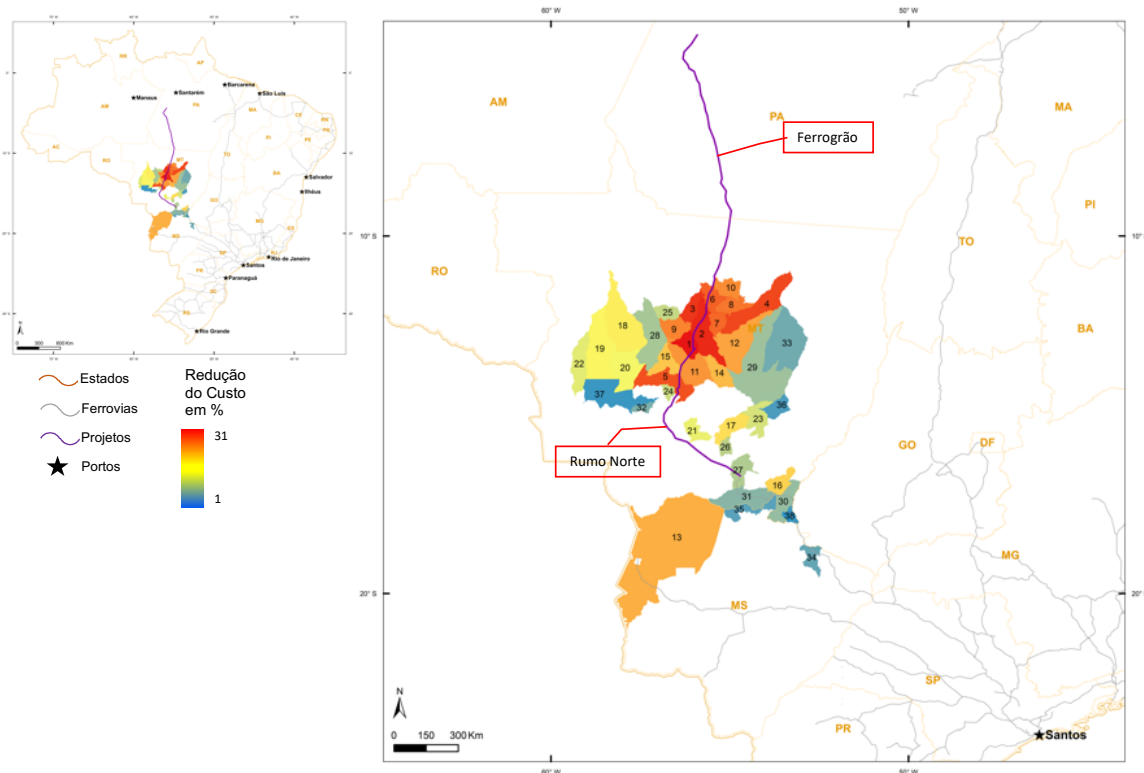


**Figura 73:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte

**Tabela 24:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	Ferrogrão + RUMO Norte (Mtons)
1	BR 163	7.90	0.01
2	Hidrovia R. Madeira	14.10	3.00
3	BR 364	14.50	3.70
4	BR 242 - MT	3.00	0.75
5	MT 325	0.002	0.30
6	MT 485	10.00	0.39
7	MT 235	5.20	3.50
8	Ferrogrão	0.00	33.00
9	Rumo	35.95	31.00
10	Rumo Malha Norte	0.00	30.85

A modelagem dos cenários da implantação dos projetos, aponta variações no custo acumulado de transporte, beneficiando 44 municípios, principalmente do estado de Mato Grosso (Tabela 25). O resultado das variações por município demonstra que a implementação dos projetos provocaria redução percentual por município de 1% a 31% (Figura 74).

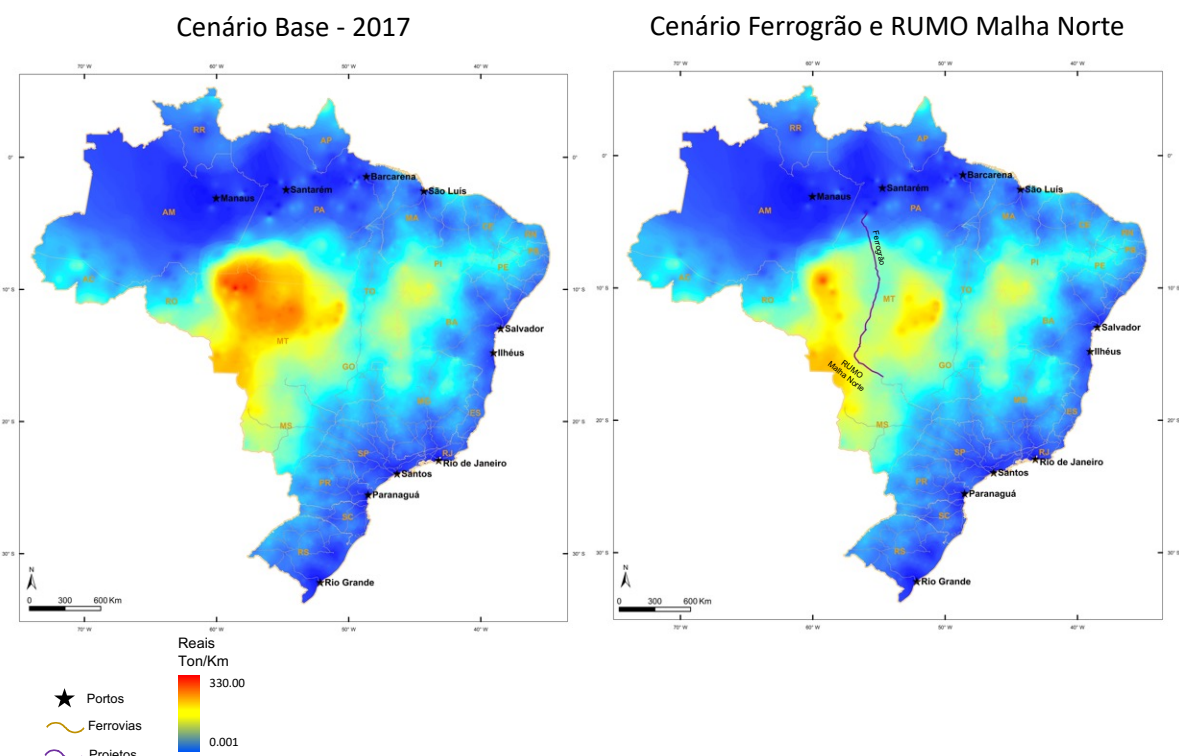


**Figura 74:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e Rumo Trecho Norte

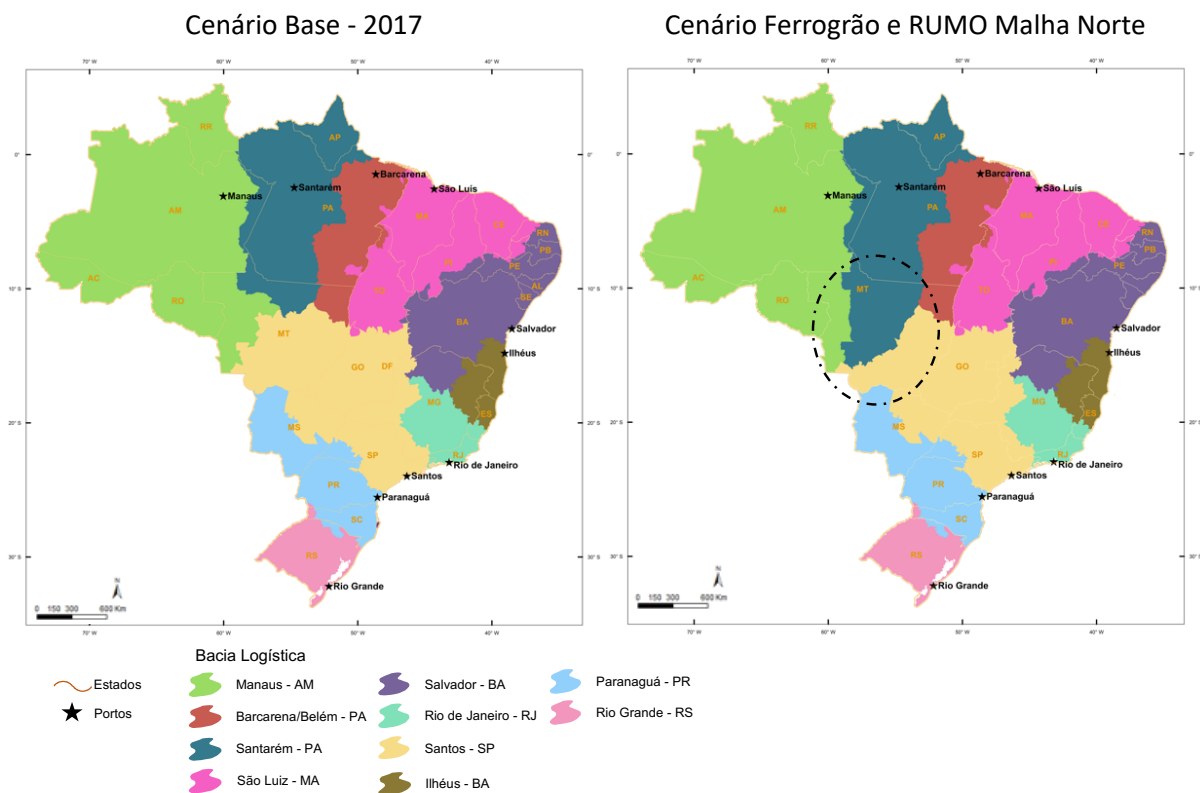
**Tabela 25:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Cenário Ferrogrão e RUMO Malha Norte

ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	LUCAS DO RIO VERDE	MT	24%
2	SORRISO	MT	19%
3	IPIRANGA DO NORTE	MT	21%
4	FELIZ NATAL	MT	19%
5	DIAMANTINO	MT	18%
6	SINOP	MT	18%
7	VERA	MT	18%
8	SANTA CARMEM	MT	18%
9	TAPURAH	MT	18%
10	CLAUDIA	MT	18%
11	NOVA MUTUM	MT	18%
12	NOVA UBIRATA	MT	18%
13	CORUMBA	MS	18%
14	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	17%
15	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	17%
16	ALTO GARCAS	MT	18%
17	CAMPO VERDE	MT	17%
18	BRASNORTE	MT	17%
19	SAPEZAL	MT	17%
20	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	17%
21	CUIABA	MT	17%
22	CAMPOS DE JULIO	MT	17%
23	PRIMAVERA DO LESTE	MT	17%
24	NORTELANDIA	MT	18%
25	ITANHANGA	MT	17%
26	JACIARA	MT	17%
27	RONDONOPOLIS	MT	18%
28	NOVA MARINGA	MT	17%
29	PARANATINGA	MT	30%
30	ALTO ARAGUAIA	MT	17%
31	ITIQUIRA	MT	16%
32	NOVA OLIMPIA	MT	16%
33	GAUCHA DO NORTE	MT	17%
34	CHAPADAO DO SUL	MS	16%
35	SONORA	MS	25%
36	SANTO ANTONIO DO LESTE	MT	23%
37	TANGARA DA SERRA	MT	23%
38	ALTO TAQUARI	MT	27%

Os resultados do modelo demonstram que as alterações provocadas nos custos de transporte (Figura 75), principalmente nos municípios do estado de Mato Grosso e nas bacias logísticas (Figura 76), têm forte interferência da Ferrogrão, assim como as movimentações de produtos GSA. Nota-se, com isso, que o Porto de Santarém-PA passaria a ser o mais beneficiado com o aumento que recebe a carga através da ferrovia Ferrogrão (Tabela 26).



**Figura 75:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Ferrogrão e RUMO Malha Norte



**Figura 76:** Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X Ferrogrão e Rumo Malha Norte

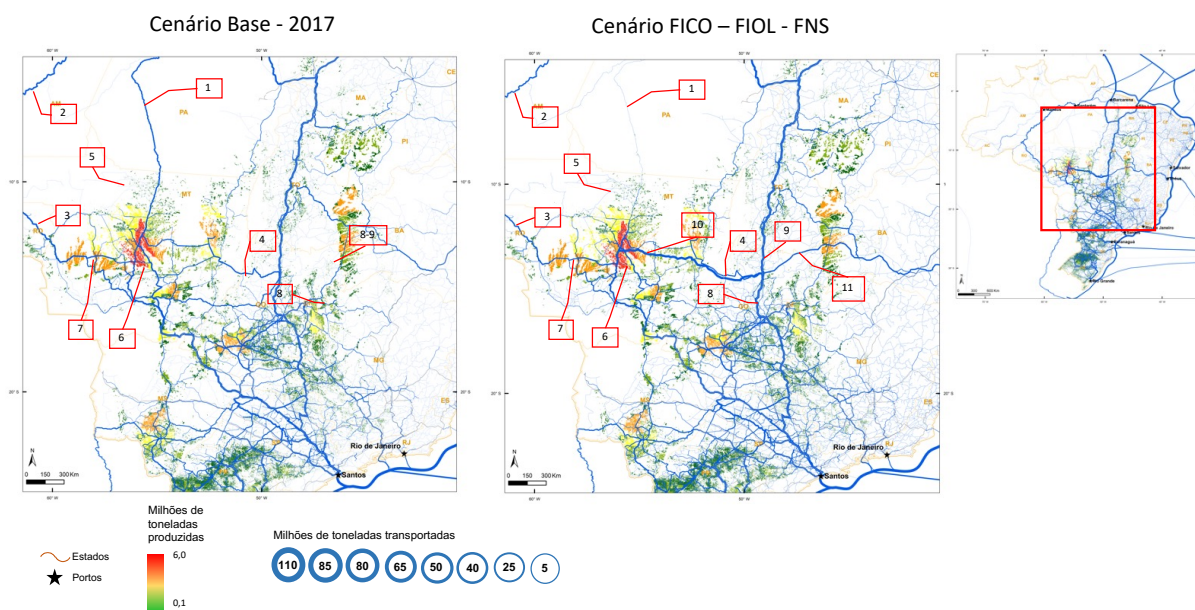
**Tabela 26:** Portos potencialmente impactados – Cenários Base X Ferrogrão e Rumo Malha Norte

	PORTO	CENÁRIO		VARIÇÃO
		BASE	FERROGRÃO + RUMO Norte	
		(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22.10	18.70	15% ↓
2	Santarém - PA	8.00	32.30	304% ↑
3	Santos - SP	54.60	51.00	7% ↓
4	São Luis - MA	18.80	11.70	38% ↓

### 5.2.9 - Cenário 7: Ferrovia Norte Sul, Ferrovia Integração Oeste Leste e Integração Centro Oeste

Para este cenário, em especial, foi promovida uma alteração hipotética no traçado da FIOL. O ponto de ligação com a FNS no município de Figueirópolis-TO, foi alterado para o município de Campinorte-GO, aqui denominado Nova Fico-Fiol, onde simulou-se sua conexão com a FNS em um ponto de transbordo ou mesmo pátio de manobras. Este traçado promove uma ligação direta entre Sorriso – MT a Ilhéus - BA, podendo ou não desviar para o Norte ou Sudeste pela FNS, dependendo do destino da carga. O objetivo do ensaio foi o de testar uma possível eliminação do gargalo previsto na FNS no trecho entre sua conexão com a FICO e com a FIOL. Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem a Nova Fico-Fiol e aqueles com a ferrovia e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 77), na Tabela 27, apontamos os trechos mais impactados caso o projeto estivesse em operação.





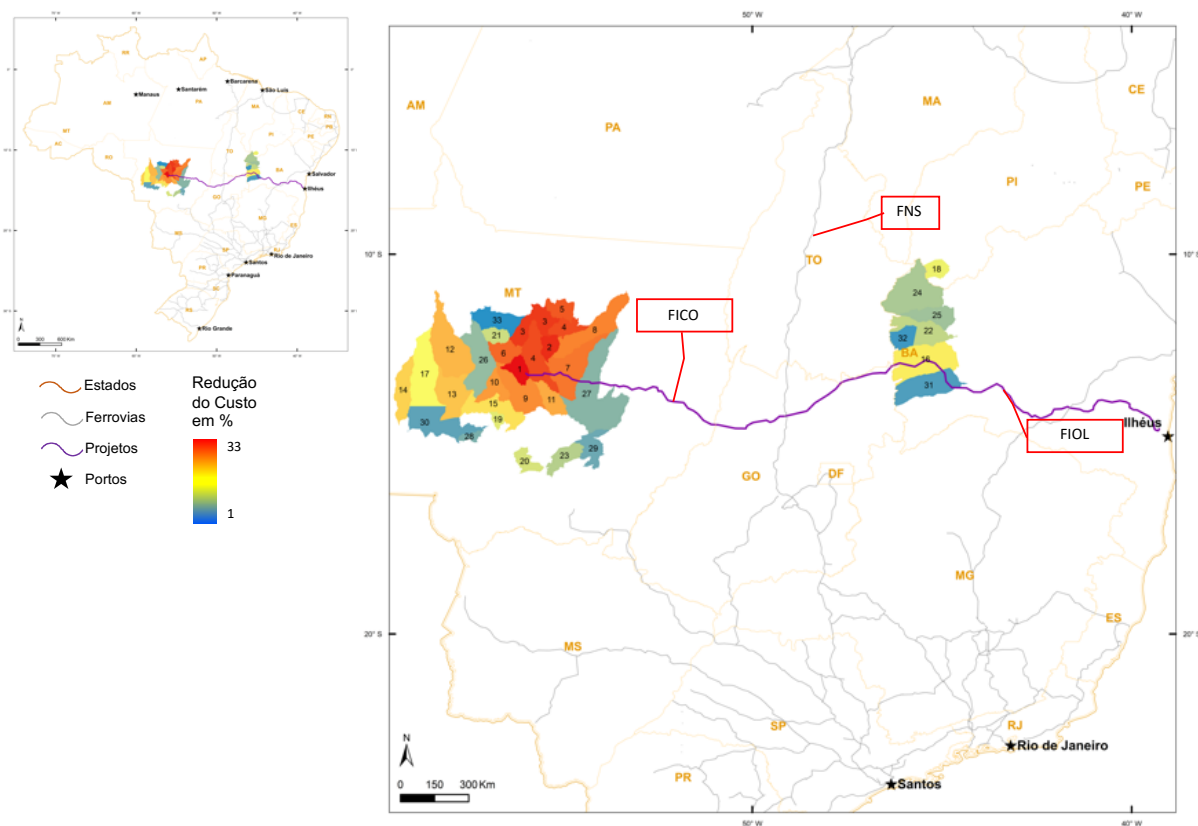
**Figura 77:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO-FIOL-FNS

**Tabela 27:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X FICO-FIOL-FNS

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	FICO-FIOL-FNS (Mtons)
1	BR 163	7.90	0.02
2	Hidrovia R. Madeira	14.10	6.24
3	BR 364	14.50	6.78
4	BR 242 - MT	3.00	0.73
5	MT 325	0.002	0.00
6	MT 485	10.00	5.60
7	MT 235	5.20	3.14
8	FNS SUL	38.29	41.27
9	FNS NORTE	31.20	46.45
10	FICO	0	41.26
11	FIOL	0	8.29

A modelagem dos cenários da implantação do projeto Nova FICO-FIOL-FNS aponta variações no custo acumulado de transporte, beneficiando 35 municípios, sendo apenas 7 fora do estado do Mato Grosso (Tabela 28). O resultado das variações por município demonstra que a implementação do projeto hipotético, provocaria redução percentual por município de 1% a 33% (Figura 78), quando incluídos dois pontos de

embarque de mercadorias. Sem a inclusão destes pontos, não há movimentação de carga na ferrovia.



**Figura 78:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário Nova FICO-FIOL-FNS



**Tabela 28:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Nova FICO-FIOL-FNS

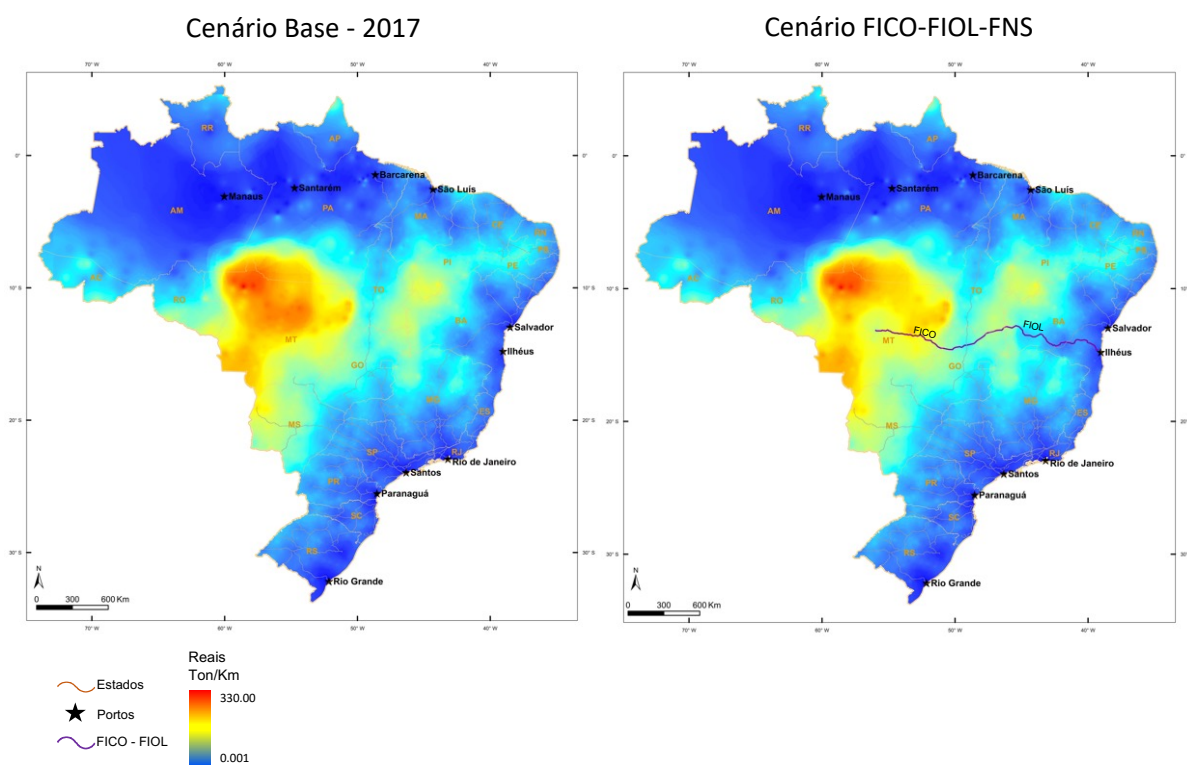
ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	LUCAS DO RIO VERDE	MT	33%
2	IPIRANGA DO NORTE	MT	30%
3	SORRISO	MT	30%
4	SINOP	MT	29%
5	TAPURAH	MT	29%
6	VERA	MT	29%
7	FELIZ NATAL	MT	28%
8	SANTA CARMEM	MT	28%
9	CLAUDIA	MT	27%
10	NOVA UBIRATA	MT	26%
11	NOVA MUTUM	MT	25%
12	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	23%
13	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	22%
14	BRASNORTE	MT	20%
15	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	20%
16	CAMPOS DE JULIO	MT	20%
17	DIAMANTINO	MT	20%
18	SAO DESIDERIO	BA	20%
19	SAPEZAL	MT	20%
20	NORTELANDIA	MT	19%
21	CORRENTE	PI	18%
22	CUIABA	MT	17%
23	ITANHANGA	MT	13%
24	BARREIRAS	BA	11%
25	CAMPO VERDE	MT	11%
26	FORMOSA DO RIO PRETO	BA	11%
27	RIACHAO DAS NEVES	BA	11%
28	NOVA MARINGA	MT	10%
29	PARANATINGA	MT	10%
30	NOVA OLIMPIA	MT	8%
31	PRIMAVERA DO LESTE	MT	7%
32	TANGARA DA SERRA	MT	7%
33	CORRENTINA	BA	6%
34	LUIS EDUARDO MAGALHAES	BA	3%
35	PORTO DOS GAUCHOS	MT	1%

Os resultados indicam que o projeto provocaria alterações no custo de transporte no Centro Oeste e Leste do país (Figura 79) e também nas bacias logísticas dos portos

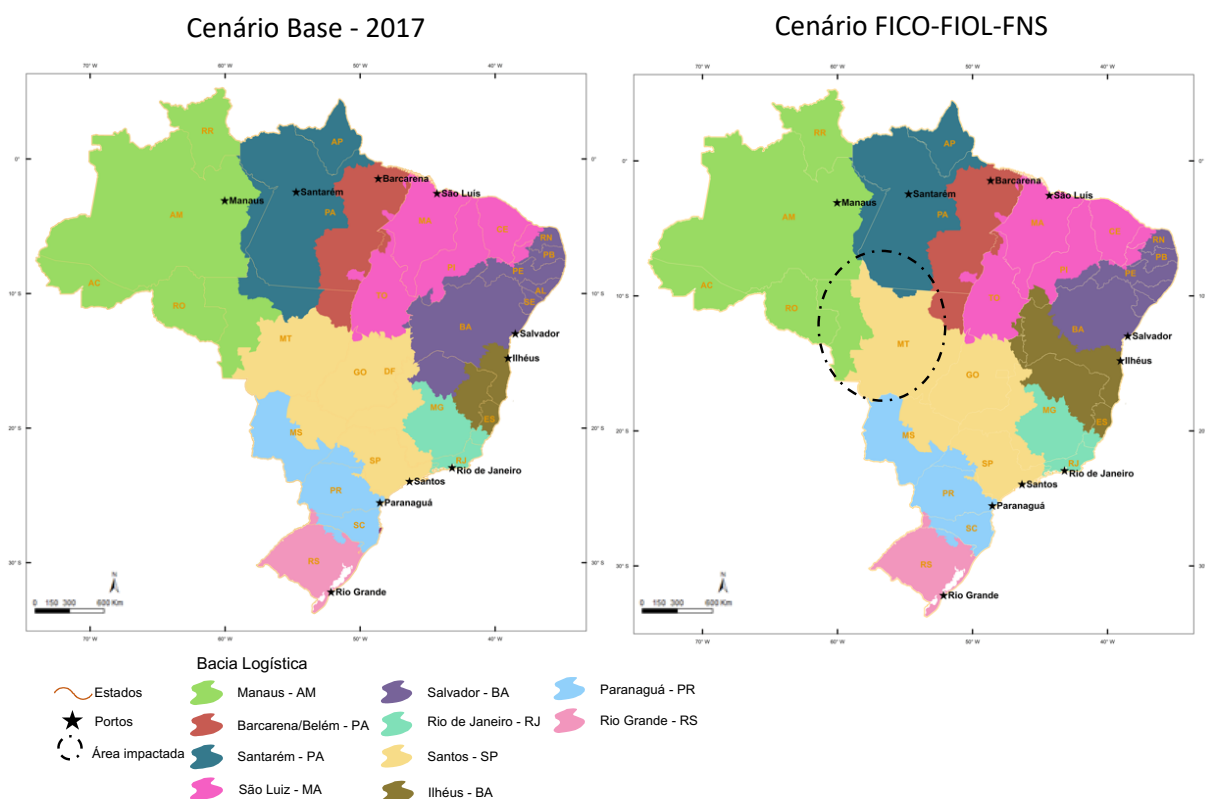
(Figura 80). Vale ressaltar que a carga de GSA do Centro Oeste seria direcionada aos portos do Norte, como Barcarena – PA e São Luis – MA, mas alimentaria o Porto de Ilhéus - BA com um aumento de cerca de 600% de carga de GSA. (Tabela 29).

**Tabela 29:** Portos potencialmente impactados– Cenários Base X Nova FICO-FIOL-FNS

PORTO		CENÁRIO		VARIÇÃO	
		BASE	FICO-FIOL-FNS		
		(Mtons)	(Mtons)		
1	Barcarena - PA	22.10	30.76	39%	↑
2	Santarém - PA	8.00	0.21	97%	↓
3	Santos - SP	54.60	47.04	14%	↓
4	São Luis - MA	18.80	27.54	47%	↑
5	Ilhéus - BA	0.99	6.93	600%	↑



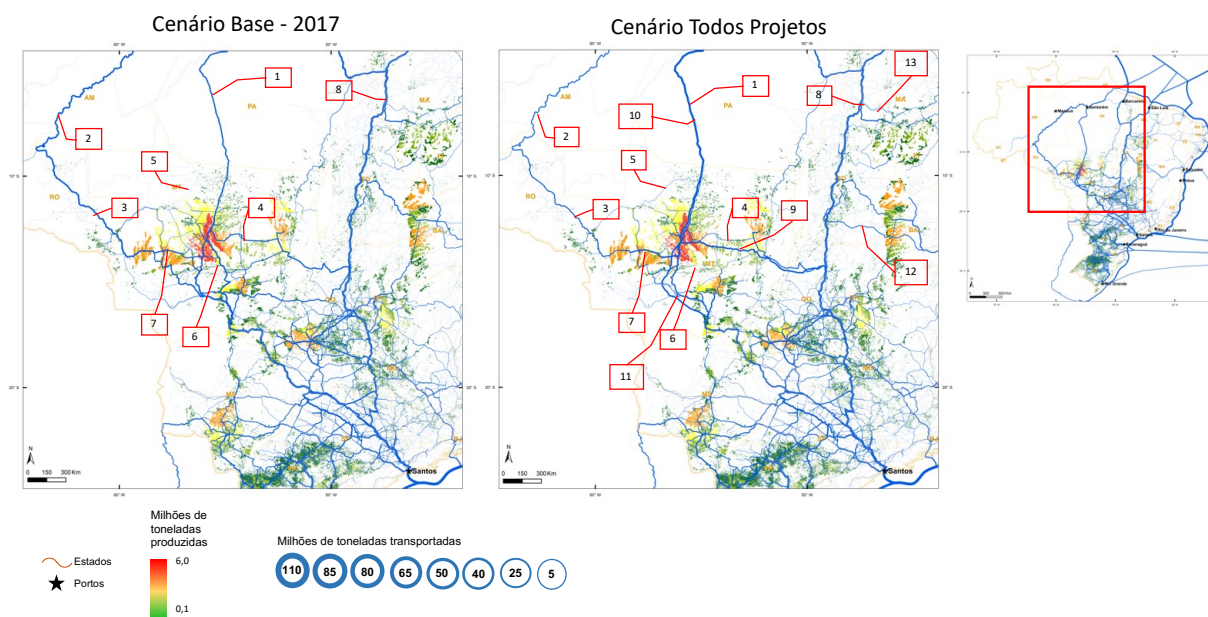
**Figura 79:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário Nova FICO-FIOL-FNS



**Figura 80:** Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X Nova FICO-FIOL-FNS

### 5.2.10 - Cenário 8: Conjunto de Projetos Estudados

Este cenário engloba o universo dos 5 primeiros cenários estudados, contudo simulando as operações simultâneas das ferrovias Ferrogrão, FICO, FIOL, Rumo e Transnordestina. Foram analisadas as diferenças de custo entre o cenário sem os projetos estudados e aqueles com os projetos e foram avaliadas as alterações no fluxo de carga que teriam ocorrido naquele ano (Figura 81), na Tabela 30, apontamos os trechos mais impactados caso os projetos estivessem em operação.

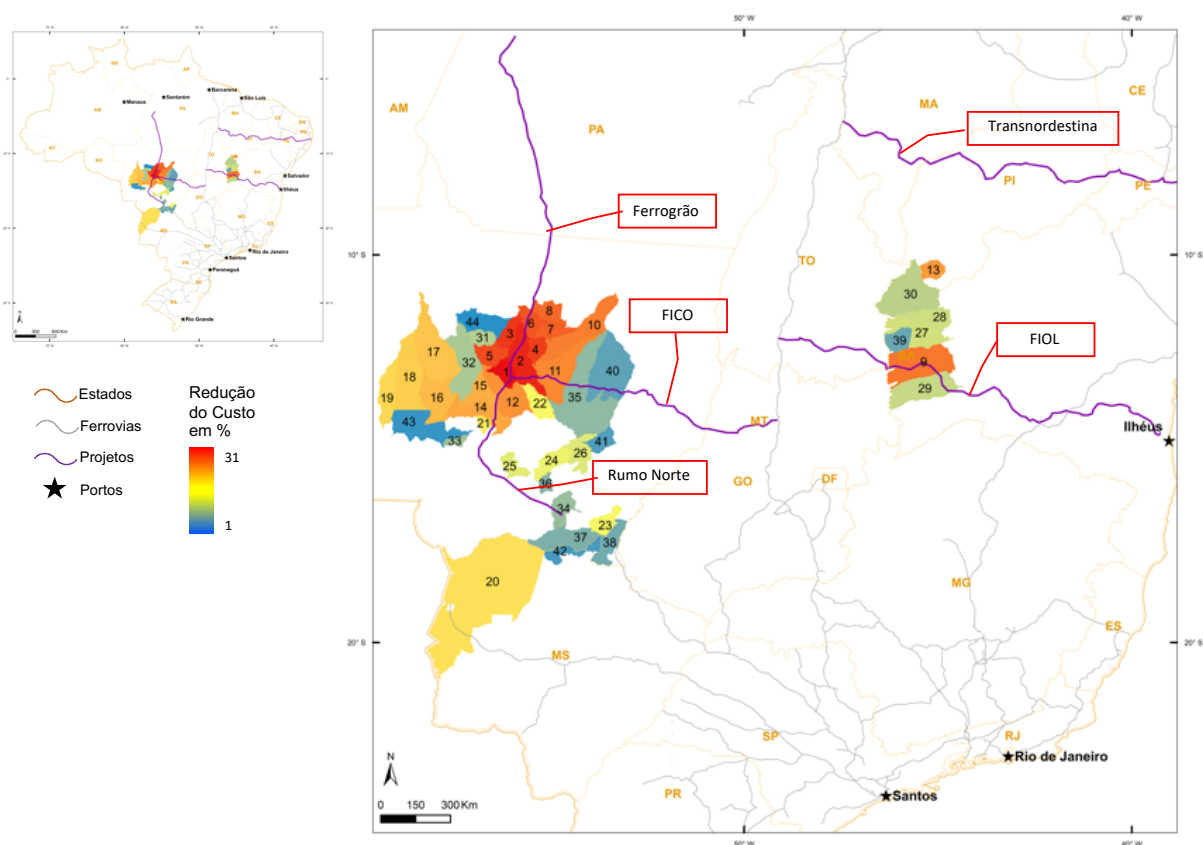


**Figura 81:** Fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Projetos estudados

**Tabela 30:** Redução do fluxo de carga por trecho – Cenários Base X Projetos estudados

TRECHO		CENÁRIO	
		BASE (Mtons)	TODOS PROJETOS (Mtons)
1	BR 163	7.90	0.002
2	Hidrovia R. Madeira	14.10	3.13
3	BR 364	14.50	3.47
4	BR 242 - MT	3.00	0.76
5	MT 325	0.002	0.300
6	MT 485	10.00	0.39
7	MT 235	5.20	12.36
8	Ferrovia Norte Sul	36.50	36.94
9	FICO	0	19.93
10	Ferrogrão	0	25.65
11	Rumo Malha Norte	0	19.65
12	FIOL	0	2.79
13	Transnordestina	0	0.32

A modelagem dos cenários da implantação dos projetos aponta variações no custo acumulado de transporte beneficiando 44 municípios, principalmente do estado de Mato Grosso (Tabela 31). O resultado das variações por município demonstra que a implementação dos projetos provocaria redução percentual por município de 1% a 31% (Figura 82).



**Figura 82:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenário com projetos estudados

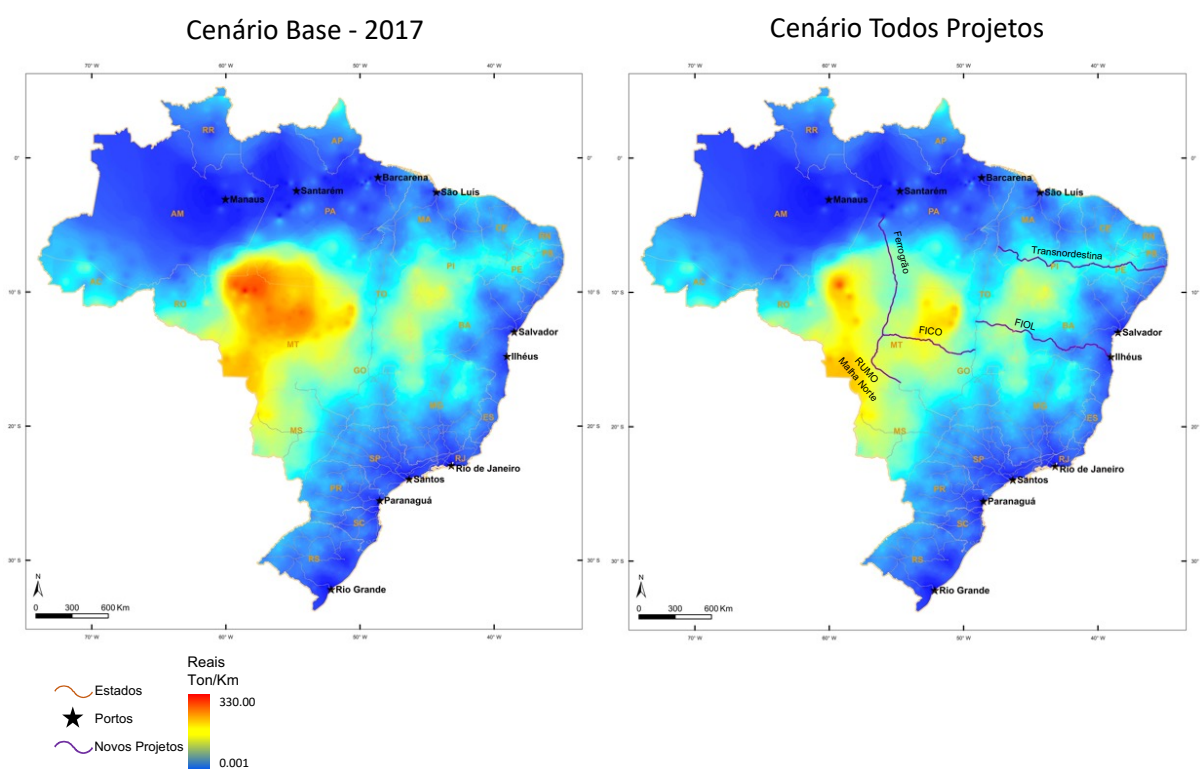
**Tabela 31:** Municípios potencialmente impactados pela redução do Custo de Transporte – Cenários Base X Projetos estudados

ID	MUNICÍPIO	UF	REDUÇÃO
1	LUCAS DO RIO VERDE	MT	31%
2	SORRISO	MT	30%
3	IPIRANGA DO NORTE	MT	29%
4	VERA	MT	29%
5	TAPURAH	MT	29%
6	SINOP	MT	29%
7	SANTA CARMEM	MT	28%
8	CLÁUDIA	MT	27%
9	SÃO DESIDÉRIO	BA	27%
10	FELIZ NATAL	MT	27%
11	NOVA UBIRATÃ	MT	26%
12	NOVA MUTUM	MT	25%
13	CORRENTE	PI	25%
14	DIAMANTINO	MT	24%
15	SÃO JOSÉ DO RIO CLARO	MT	23%
16	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	20%
17	BRASNORTE	MT	20%
18	SAPEZAL	MT	20%
19	CAMPOS DE JÚLIO	MT	20%
20	CORUMBÁ	MS	19%
21	NORTELÂNDIA	MT	19%
22	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	18%
23	ALTO GARÇAS	MT	14%
24	CAMPO VERDE	MT	14%
25	CUIABÁ	MT	13%
26	PRIMAVERA DO LESTE	MT	12%
27	BARREIRAS	BA	12%
28	RIACHÃO DAS NEVES	BA	12%
29	CORRENTINA	BA	12%
30	FORMOSA DO RIO PRETO	BA	11%
31	ITANHANGÁ	MT	9%
32	NOVA MARINGÁ	MT	6%
33	NOVA OLÍMPIA	MT	6%
34	RONDONÓPOLIS	MT	5%
35	PARANATINGA	MT	5%
36	JACIARA	MT	5%
37	ITIQUIRA	MT	4%
38	ALTO ARAGUAIA	MT	4%
39	LUÍS EDUARDO MAGALHÃES	BA	3%
40	GAÚCHA DO NORTE	MT	3%
41	SANTO ANTONIO DO LESTE	MT	2%
42	SONORA	MS	2%
43	TANGARÁ DA SERRA	MT	2%
44	PORTO DOS GAUCHOS	MT	1%

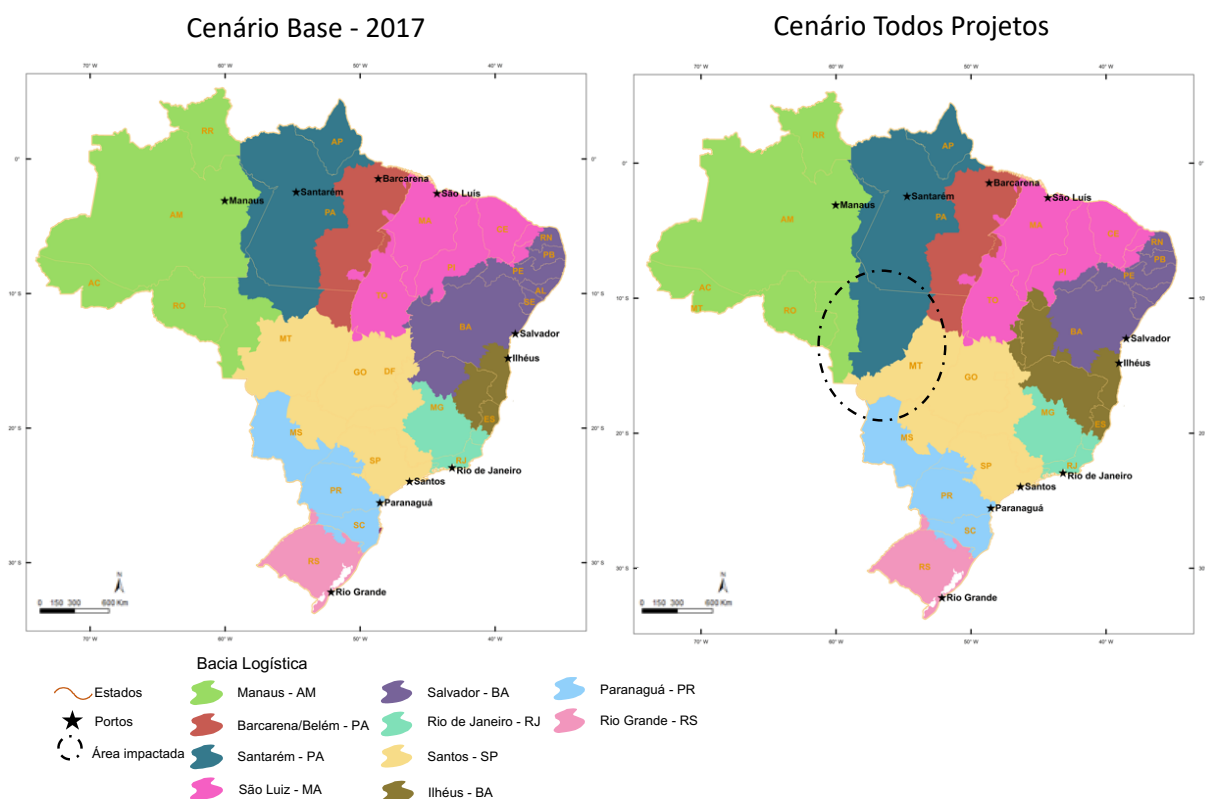
Os resultados indicam que os projetos provocariam alterações nos custos de transporte (Figura 83), principalmente, nas bacias logística dos portos de Santarém – PA e Ilhéus - BA (Figura 84) causando mudanças no padrão de movimentação de produtos GSA (Tabela 32). A simulação demonstrou que o principal beneficiado é o Porto de Santarém – PA que recebe a carga através da ferrovia Ferrogrão.

**Tabela 32:** Portos potencialmente impactados– Cenários Base X Projetos estudados

PORTO	CENÁRIO		VARIÇÃO		
	BASE	Todos Projetos			
	(Mtons)	(Mtons)			
1	Barcarena - PA	22,10	18,78	15%	↓
2	Santarém - PA	8,00	24,95	68%	↑
3	Santos - SP	54,60	51,15	6%	↓
4	São Luis - MA	18,80	19,33	3%	↑
5	Salvador - BA	1,60	0,25	84%	↓
6	Recife - PE	0,56	0,69	18%	↑



**Figura 83:** Custo de transporte até os portos - Cenário Atual X Cenário com todos os projetos



**Figura 84:** Bacias logísticas dos portos – Cenários Base X Todos projetos estudados

Cabe observar que neste cenário onde todos os projetos são considerados implantados, mesmo não alcançando a carga total projetada, a Ferrogrão tem um papel importante no escoamento de cargas, principalmente para o Porto de Santarém-PA. Os impactos possíveis causados pela necessidade de infraestrutura portuária no ponto de transbordo em Miritituba/Itaituba-PA, além da ampliação da capacidade do Porto de Santarém-PA. Outro ponto é a redução de cargas na Hidrovia do Rio Madeira e conseqüente redução na BR 364. A distribuição das cargas de GSA entre os trechos é importante e não alteram o papel fundamental da Ferrovia Norte Sul na logística nacional.



### 5.2.11 - Conclusão do estudo

Como parte do escopo central da presente tese, a qual tem como objetivo apresentar a modelagem geográfica como ferramenta chave de apoio a tomada de decisão em projetos de planejamento de infraestruturas de transportes, o presente estudo demonstrou seu uso na compilação de diferentes cenários para predição de custos de transporte de GSA em todo o território nacional continental. Neste estudo de variação de cenários, podemos avaliar que cada cenário, quando analisado individualmente, parece atender ao objetivo principal de reduzir o custo de transporte na região de interesse. No entanto, é importante lembrar que é necessário analisar o conjunto de projetos para uma avaliação mais precisa.

O modelo permitiu a realização de diversos cenários considerando variações e combinações de infraestruturas ferroviárias planejadas e em construção. As informações dos cenários resultantes puderam ser quantificadas e comparadas quanto ao potencial de redução do custo de transporte. O universo das rotas de menor custo para cada cenário permitiram computar as macrobacias logísticas dos portos exportadores de GSA, e as comparações diretas entre as áreas de abrangência dos portos, computado por município exportador, para cada cenário modelado resultou em importantes métricas que podem dar suporte a indução de políticas públicas em pastas como agricultura, infraestrutura e desenvolvimento

É importante destacar que a complexidade do modelo se dá pela combinação de fatores como a abrangência geográfica, tratamento topológico da rede, bem como pela característica multimodal, multiorigem, multidestino e multicommodity da solução. Além disso, é importante destacar que a matriz OD utilizada neste estudo considera tanto o mercado interno quanto as exportações.

No tocante a análise dos resultados, uma avaliação econômica, olhando apenas o impacto no custo de transporte, o projeto da Nova FICO-FIOL-FNS tem um potencial maior de redução, podendo chegar a 33% (Tabela 33) alcançando 35 municípios, principalmente do estado do Mato Grosso. Todavia na mesma tabela podemos

observar que os projetos da Ferrogrão quando avaliados em conjunto com a Malha Norte da RUMO, pode alcançar 38 municípios, embora a redução máxima chega a 24%.

**Tabela 33:** Impacto dos projetos no custo de transporte.

PROJETO	REDUÇÃO NO CUSTO DE		MUNICIPIOS
	MENOR	MAIOR	
Ferrogrão	2%	30%	23
FICO	1%	30%	28
FIOL	3%	27%	7
RUMO Malha Norte	4%	25%	19
Ferrogrão e RUMO Malha Norte	1%	24%	154
Nova FICO-FIOL-FNS	1%	33%	35
Todos os Projetos	1%	31%	44

Ao comparar os traçados propostos para as Ferrovias Ferrogrão e FICO, percebe-se que são projetos que concorrem entre si no atendimento às demandas de escoamento de produtos agrícolas. Em outra avaliação, desta vez observando o entorno dos projetos e possíveis alterações no meio ambiente e conseqüentemente nas populações regionais, podemos verificar que o cenário do projeto Ferrogrão, provoca uma alteração importante no Porto de Santarém-PA como volume embarcado neste porto saltando de 8 para 27 milhões de toneladas ano (Tabela 34), o que significa mais de 200%.

Considerando que o projeto inclui o desembarque de cargas no terminal de Miritituba-PA, será necessária a instalação de infraestrutura para receber esta carga e em seguida seguir por rodovia até Santarém-PA ou por hidrovía até Barcarena-PA. De qualquer forma, o impacto na região de Miritituba será considerável pois, é uma região importante para a conservação do meio ambiente que, certamente, deverá absorver impactos sinérgicos e cumulativos que, normalmente, não são considerados em avaliações ambientais ou econômicas. Além disto, o traçado proposto para Ferrogrão está muito próximo de Áreas Protegidas, sendo este o motivo de estar nas mãos do Superior Tribunal Federal (STF).

**Tabela 34:** Movimentação de carga de GSA nos principais portos.

PORTO	CENÁRIO									
	BASE	FERROGRÃO	FICO	FIOL	RUMO NORTE	Transnordestina	Todos	Ferrogrão e RUMO	Nova FICO-FIOL-FNS	
	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	(Mtons)	
1	Barcarena - PA	22.11	19.96	30.75	22.12	22.11	22.11	18.78	18.77	30.76
2	Santarém - PA	8.07	27.91	0.21	8.07	5.88	8.07	24.95	32.34	0.21
3	Santos - SP	54.65	52.62	52.89	54.64	55.66	54.65	51.15	51.00	47.04
4	São Luis - MA	18.86	13.33	27.29	19.21	20.05	18.65	19.33	11.71	27.54
5	Salvador - BA	1.60	1.60	1.60	0.25	1.60	1.60	0.25	1.60	0.25
6	Recife - PE	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.78	0.69	0.56	0.56
7	Ilhéus - BA	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	6.93

Por fim, o projeto hipotético que causaria impactos ambientais em menor escala e ainda estaria distante de áreas prioritárias para a conservação ambiental, como a Bacia Amazônica, é a Nova FICO-FIOL-FNS. No entanto, é importante destacar que se trata de um projeto hipotético e que qualquer iniciativa de infraestrutura deve ser submetida a avaliações rigorosas de impacto ambiental e social antes de ser implementada.

## 6. DISCUSSÃO e CONCLUSÕES

A pesquisa integrou duas vertentes de estudos de modelagem geográfica computacional aplicada ao planejamento de transportes, a primeira dedicada ao cálculo e desenho de corredores de viabilidade para propostas de infraestruturas lineares e a segunda voltada ao cálculo e desenho das alterações na macrologística nacional de escoamento de cargas agrícolas. Partiu-se do pressuposto de que a modelagem geográfica computacional fornece o ambiente adequado para a implementação de soluções interdisciplinares para os problemas complexos do planejamento de transportes, tanto aqueles já conhecidos quanto os que ainda estão por vir.

A pesquisa comprovou a hipótese de que simulações de cenários obtidas através dos modelos computacionais para inteligência geográfica podem prever a abrangência de impactos socioambientais que transcendem as perspectivas tradicionais praticadas nos processos de planejamento de infraestruturas de transporte e de licenciamento ambiental, tanto em projetos *greenfield* como em infraestruturas já existentes.

O objetivo proposto foi cumprido. Foram desenvolvidos e demonstrados nos capítulos 3 e 4 três diferentes modelos computacionais inovadores de inteligência geográfica voltados à modernização do planejamento de transporte. Os modelos foram demonstrados desde sua fase de concepção -Modelagem Conceitual-, a idealização técnica da solução -Modelagem Lógica-, até suas respectivas implementações e operacionalização -Modelagem Física. Os modelos foram aplicados em diferentes estudos ressaltando a importância e o caráter inovador das soluções quanto à transversalidade das questões abordadas, fruto da capacidade dos modelos em gerir aspectos territoriais e temporais até então não praticados, sobretudo ao considerar as perspectivas social, econômica e ambiental em uma abrangência espacial mais ampla ainda na fase de planejamento das infraestruturas de transporte.

Não obstante ao modelo computacional de corredor de viabilidade para novos empreendimentos em estudo e desenvolvidos e modelo computacional preditivo para

análise da dinâmica da macrologística e simulação do comportamento da malha e das macrobacias logísticas inserindo e retirando elementos da malha multimodal, a pesquisa incluiu também dois casos reais e polêmicos presentes no contexto nacional, relacionados a impactos socioambientais até o momento “invisíveis” no debate gerado pela queda de braço entre os valores econômicos/estratégicos e os valores socioambientais. Ambos os casos tiveram foram estrategicamente elencados nesta tese para cumprir o objetivo central de demonstrar o emprego de modelagem geográfica na quantificação e predição de cenários para dar suporte ao diálogo transversal entre diferentes atores envolvidos no planejamento de transporte.

A pesquisa preenche uma lacuna importante entre o universo das ciências ambientais e da engenharia no que tange à necessidade de fomentar a modernização do processo de planejamento de infraestruturas de transporte, assunto que também dialoga diretamente com outras áreas de conhecimento como as ciências sociais, a ecologia, o planejamento territorial e a economia. A pesquisa traz à tona aspectos inovadores, sobretudo pela capacidade de integrar o debate entre diferentes pastas ainda em fase inicial de projetos, o que reduz substancialmente as tradicionais mediações jurídicas de projetos com planejamento unilateral. A pesquisa em questão pode ser considerada cientificamente válida, uma vez que foi comprovada por meio de publicações prévias e pela originalidade dos estudos apresentados no capítulo 5. Esses estudos fomentam o debate sobre a necessidade de levar em conta os efeitos transformadores da paisagem em regiões remotas de rodovias e ferrovias.

Embora seu título remeta diretamente à linha de modelagem de sistemas, a pesquisa apresenta forte aderência com as três linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Os desenvolvimentos dos modelos demonstram a forte aderência com a linha de Análise Ambiental, e as discussões fomentadas pela pesquisa dialogam profundamente com a linha de pesquisa em Gestão da Paisagem. Cabe ressaltar que a pesquisa destaca a importância da incorporação de aspectos socioambientais nos debates e políticas de modernização e interdisciplinaridade no contexto do planejamento de transportes.

A abordagem multidisciplinar e a integração de diferentes áreas de atuação são fundamentais para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis em transporte. A falta de uma visão mais ampla e integrada pode gerar externalidades negativas, como impactos ambientais e sociais decorrentes de políticas de transporte inadequadas. Nesse sentido, a inserção de aspectos socioambientais no planejamento de transportes pode ser uma importante ferramenta para aprimorar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de transporte. Além disso, a intensificação de debates e políticas de modernização e interdisciplinaridade pode fomentar a adoção de abordagens cientificamente embasadas e inovadoras.

## 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo desenvolvido para esta pesquisa, apresentou resultados promissores. Iniciando com a indicação de área mais adequada para a ligação entre pontos de interesse, através de infraestrutura linear de transporte, passando por fornecer dados espaciais para análise da dinâmica da micrologística nacional e da bacia logística dos principais portos brasileiros, além de analisar a dinâmica do transporte nos trechos projetados e as mudanças que a infraestrutura causa no seu entorno.

Este trabalho demonstra a importância da integração de diferentes perspectivas, habilidades, recursos e conhecimentos para alcançar um objetivo comum na tomada de decisão e planejamento. Esta transversalidade tão necessária ao planejamento, não apenas de trechos de transporte, mas também em outras obras como a implantação de linhas de transmissão, nos é permitido através da modelagem computacional e de dados geográficos.

A abordagem multidisciplinar permite que diferentes áreas de conhecimento contribuam para a solução de problemas complexos, como aqueles encontrados em processos de tomada de decisão e planejamento. A integração de diferentes perspectivas pode enriquecer a análise de problemas, identificar oportunidades e desafios e promover a inovação na solução de problemas. Além disso, a integração de diferentes habilidades e recursos pode aumentar a eficácia e eficiência do processo de planejamento, permitindo a combinação de diferentes metodologias e ferramentas para a tomada de decisão.

Durante os 4 anos de pesquisa, foram identificados pontos importantes que podem contribuir significativamente para o aumento da qualidade e da performance dos modelos apresentados neste estudo. Contribuições ao tema, como por exemplo a adesão de intervalos de decaimento de pesos entre duas perspectivas antagônicas como a construtiva (aspectos de engenharia) e a ambiental apresentada por Biasotto et al (2022) deram luz a novas ideias que deverão ser incorporadas ao modelo de corredores de viabilidade. Pretende-se adotar uma estratégia de varredura

automática de pesos para geração de diversos corredores, que deverão ser estatisticamente analisados quanto a critérios de aderência para mapeamento dos trechos de discrepância.

Adicionalmente, é importante destacar que a evolução contínua dos modelos requer a atualização constante dos conhecimentos teóricos e práticos na área de estudo, bem como a incorporação de tecnologias e metodologias emergentes. Portanto, é fundamental considerar a qualidade e a performance dos modelos apresentados neste estudo, e garantir a relevância e a aplicabilidade dos resultados para a solução de problemas práticos e para o avanço do conhecimento na área de estudo.

Além dos três artigos publicados, almeja-se a publicação de outros manuscritos, a seguir:

- Aspectos históricos do planejamento das infraestruturas de transporte no Brasil e o contexto territorial/ambiental (em parte apresentado no capítulo 2), e que terá caráter descritivo/qualitativo;
- Estudo qualitativo e quantitativo de alternativas à proposta de construção dos trechos da BR-080 e BR-242 em áreas de alta vulnerabilidade socioambiental cuja estrutura central está apresentada na seção 5.1;
- Estudo comparativo dos cenários macrologísticos da EPL e cenários derivados das modelagens compiladas na seção 5.2.

Por fim, é importante ressaltar que o desenvolvimento desses modelos representa um avanço significativo no esforço da equipe em construir uma plataforma de modelagem aplicada à interface entre o Planejamento de Transporte e o Meio Ambiente. Essa plataforma se torna fundamental para promover uma abordagem integrada e sistêmica na análise e na tomada de decisão em questões relacionadas ao transporte e ao meio ambiente. Dessa forma, o desenvolvimento desses modelos representa um passo importante para a construção de uma abordagem mais integrada e sustentável no planejamento de transporte, contribuindo para a promoção da qualidade de vida, do desenvolvimento econômico e da preservação do meio ambiente.



## REFERÊNCIAS

ABA – Associação Brasileira de Antropologia. Antropologia das mobilidades / organização Candice Vidal e Souza, André Dumans Guedes. -- Brasília: ABA Publicações, 2021.

AMANN, E., BAER, W., TREBAT, T., LORA, J.V. Infrastructure and its role in Brazil's development process, Quarterly Review of Economics and Finance. 62 (2016) 66–73. <https://doi.org/10.1016/J.QREF.2016.07.007>.

ANTT. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Concessões Ferroviárias. 2018. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes\\_Ferrovias.html](http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes_Ferrovias.html)>. Acesso em: 28 nov. 2019.

ANTT. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Contrato de concessão da Ferrovia Norte-Sul é assinado. 2019. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/salaImprensa/noticias/arquivos/2019/07/Contrato\\_de\\_concessao\\_da\\_Ferrovia\\_NorteSul\\_e\\_assinado.html](http://www.antt.gov.br/salaImprensa/noticias/arquivos/2019/07/Contrato_de_concessao_da_Ferrovia_NorteSul_e_assinado.html)> . Acesso em: 10 jan. 2020.

ALVES FILHO, M. Desequilíbrio congestionamento matriz de transporte brasileira. Jornal da UNICAMP, 2021/6// 2021.

ANNEMA, J. A.; MOUTER, N.; RAZAEI, J. Cost-benefit Analysis (CBA), or Multi-criteria Decision-making (MCDM) or Both: Politicians' Perspective in Transport Policy Appraisal. Transportation Research Procedia, 10, p. 788-797, 2015.

ARAUJO, R.; ASSUNÇÃO, J.; BRAGANÇA, A. The Environmental Impacts of the Ferrogrão Railroad: An Ex-Ante Evaluation of Deforestation Risks. Climate Policy Initiative, 2020/3// 2020.

ATKINS, S.T. Transportation Planning Models - what the papers say. Traffic Engineering and Control, Vol. 27, No. 9, London. 1986.

BALCI, O. Verification, validation, and accreditation. In Proceedings of the 30th conference on Winter simulation (WSC '98). IEEE Computer Society Press, Washington, DC, USA, 41–4. 1998.

BANKS, J. Principles of Simulation. P. 1-30. In: BANKS, J. Handbook of Simulation. John Wiley & Sons, Inc. 1998.

BANISTER, D.; BERECHMAN, J. Transport investment and economic development. Routledge. 2003.

BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. Discrete-event system simulation. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

BARBOSA, P.; SCHUMAKER, N. H.; BRANDON, K. R.; BAGER, A. et al. Simulating the consequences of roads for wildlife population dynamics. Landscape and Urban Planning, 193, 2020/1// 2020.

BARZIN, S.; D'COSTA, S.; GRAHAM, D. J. A pseudo – panel approach to estimating dynamic effects of road infrastructure on firm performance in a developing country context. Regional Science and Urban Economics, 70, p. 20-34, 2018.

BEAUDRY, F.; DEMAYNADIER, P. G.; HUNTER, M. L. Identifying road mortality threat at multiple spatial scales for semi-aquatic turtles. Biological Conservation, 141, n. 10, p. 2550-2563, 2008.

BERBERIAN, C. F. Q. ; VIEIRA, R. R. T. ; DIAS FILHO, N. ; FERRAZ, C. A. M. ; NOBREGA, R. A. A. . O USO DE GEOTECNOLOGIAS COMO UMA NOVA FERRAMENTA PARA O CONTROLE EXTERNO. Revista do Tribunal de Contas da Uniao, v. 133, p. 40-53, 2016.

BERG, C. N.; DEICHMANN, U.; LIU, Y.; SELOD, H. Transport Policies and Development. *Journal of Development Studies*, 53, n. 4, p. 465-480, 2017/4// 2017.

BERTUSSI, G. L., & ELLERY JUNIOR, R. Infraestrutura de transporte e crescimento econômico no Brasil. *Journal of Transport Literature*, 6(J. Transp. Lit., 2012 6(4)). 2012.

BIACHI, A., MACEDO, F. New Transnordestina Railway and Space Organization. *Mercator: Revista de Geografia da UFC*. 17. 10.4215/rm2018.e17010. 2018.

BIASOTTO, L. D. ; BECKER, F. G. ; NÓBREGA, R A. A. ; KINDEL, A . Routing power lines: Towards an environmental and engineering friendly framework for avoiding impacts and conflicts in the planning phase. *ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT REVIEW*, v. 95, p. 106797-106808, 2022.

BLACK, W. R. Sustainable transportation: A US perspective. *Journal of Transport Geography*, 4, n. 3, p. 151-159, 1996.

BOCHENSKI, T.; PALMOWSKI, T.; STUDZIENIECKI, T. The Development of Major Seaports in the Context of National Maritime Policy. The Case Study of Poland. *Sustainability* 2021, 13, 12883.

BONHM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. ElsevierButterworth-Heinemann, Burlington MA, Second Edition, 2006. 378p.

BORDA-DE-ÁGUA, L.; GRILO, C.; PEREIRA, H. M. Modeling the impact of road mortality on barn owl (*Tyto alba*) populations using age-structured models. *Ecological Modelling*, 276, p. 29-37, 2014.

BORSHCHEV, A.; FILIPPOV, A. From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. In: *INTERNATIONAL*

CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 22, 2004. Proceedings... Oxford, England: Keble College, 2004.

BRAGANÇA, A. ASSUNÇÃO, J.J., ARAUJO, R., MAGALHÃES, M. Infraestrutura de transporte e emprego: uma abordagem de acesso a mercado. Relatório de avaliação de efetividade, v. 04, n. 11. Rio de Janeiro – RJ. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Climate Policy Initiative. 2022.

BRASIL, Lei N° 2.975 de 27 de Novembro de 1956. Presidência da República, 1957. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L2975.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2975.htm)>. Acesso em: 19 Janeiro 2023.

BRASIL Plano Nacional de Viação. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1973. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1970-1979/anexo/anl5917-73.pdf](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/anexo/anl5917-73.pdf) (acesso em 21 Janeiro 2023).

BRASIL, Estudos para implantação de ferrovia contarão com apoio de universidade do Pará. 19 de janeiro de 2021. <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/01/estudos-para-implantacao-de-ferrovia-contarao-com-apoio-de-universidade-do-para>. Visitado em 30 de outubro de 2022.

BRASIL. Ministério dos Transportes. VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias. Volume I - Estudo Operacional da Ferrovia de Integração Oeste Leste EF-334. 2010.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Resolução do Conselho nacional do Meio Ambiente, CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986. Publicado no D. O. U de 17 /2/86.

BROOKS, M. R., Trifts, V. Short sea shipping in North America: Understanding the requirements of Atlantic Canadian shippers. *Maritime Policy and Management*, 35(2), 145–158. 2008.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment – Monograph on Soil and Resource. Oxford: Claredon, 194p. 1989.

CABRAL, I. P. de S. Novas Ferramentas para Monitoramento Ambiental Usando SIG Web. Dissertação (Doctorado em Ciências) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

CABRAL, L. Embrapa and the construction of scientific heritage in Brazilian agriculture: Sowing memory. *Dev. Policy Rev.* 2021, 39, 789–810. Available online: <https://doi.org/10.1111/dpr.12531> (accessed on 20 September 2022)

CAETANO, Marco Antonio Leonel. Political activity in social media induces forest res in the Brazilian Amazon. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 167, jun. 2021.

CAMELO FILHO, José Vieira. A implantação e consolidação das estradas de ferro do nordeste brasileiro. 200. 250 f. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CAMPOS, F. R. A influência da Ferrovia Norte-Sul no desenvolvimento regional do território goiano. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Estudo Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CARRILHO, C. D.; DEMARCHI, G.; DUCHELLE, A.; WUNDER, S.; MORSELLO, C. Permacence of aviiided deforestation in a transamazon REDD+ project, Pará, Brazil. *Ecological Economics*, v. 201, 1075568, 12p. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107568>

CARVALHO, D. N.; BONIOLO, M. R.; SANTOS, R. G.; BATISTA, L. V. et al. Critérios usados na definição de áreas de influências, impactos e programas ambientais em estudos de impacto ambiental de usinas hidrelétricas brasileiras. n. 3, p. 639-653, 2018.

CASTRO, A., SCHLAG, F., CAMPOS, F. Análise das contribuições econômicas da Ferrovia Norte-Sul nos municípios goianos. *Revista de Economia do Centro-Oeste*. 4. 31. 10.5216/reoeste.v4i1.50202. 2018.

CHENG, Y., Hybrid Simulation for Resolving Conflicts in Train Traffic Rescheduling. *Computers in Industry*. 35, pp. 233-246, 1998.

COIMBRA, C. *Visão Histórica e Análise Conceitual dos Transportes no Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 1974

COSTA, W. L. S.; DAVIS, J.; RIBEIRO, A.; SILVEIRA, B. et al. *Amazônia do futuro: o que esperar dos impactos socioambientais da Ferrogrão? Logística da Soja para a Amazônia*. 2020.

COSTA, W. L. S. *Modelagem e caracterização das rotas de exportação da Soja*. 2013. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica/wp-content/uploads/2018/08/dissertacao.pdf>.

CRAFTS, N. Transport infrastructure investment: implications for growth and productivity. *Oxford Review of Economic Policy*, 25, n. 3, p. 327-343, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 1999. 978-85-212-0177-9.

CHOW, J. Y. J., YANG, C. H., e REGAN, A. C. State-of-the art of freight forecast modeling: Lessons learned and the road ahead. *Transportation*, 37(6), 1011–1030. 2010.

CHWIF, L., ME. DINA, A.C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações*. 4ª. Edição. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2015.

CRISTIANO, G., SILVA, A.C., PAZ, D., GALHARDI, A.C., PIACENTE, F.J. Perspectives for rail freight transport in Brazil. *Brazilian Journal of Business*, Curitiba, v. 5, n. 1, jan./mar., 2023

DAMART, S.; ROY, B. The use of cost-benefit analysis in public transportation decision-making in France. *Transportation Policy*, v.16, n.4, pp. 200-212, 2009.

DANIELIS, R., e MARCUCCI, E. Attribute cut-offs in freight service selection. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(5), 506–515. 2007.

DAVID, J. C.; DONALD, J. B. *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. 1 ed. São Paulo: 2004.

DAVIS, C.; LYRA, G.; SILVA, C. F.; GUIMARAES, M. P. Social media are fuelling the Amazon's destruction. *Nature*, v.580, n.7803, pp.321-321. 2020 doi: 10.1038/d41586-020-01078, 14/04/2020.

DIÁRIO DA MANHÃ. Centro-Oeste: O caminho do novo Brasil. Suplemento Especial Ferrovias Norte-Sul. Goiânia, ago. 1988

de Jong, G., Vierth, I., Tavasszy, L., e Ben-Akiva, M. Recent developments in national and international freight transport models within Europe. *Transportation*, 40(2), 347–371. 2013.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Síntese Histórica. Ministério da Infraestrutura, 2019. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>>. (acesso em 02 de novembro de 2019)

DORNAS, R.A.P.; TEIXEIRA, F.; GONSIOROSKI, G.; NOBREGA, R.A.A. Strain by the train: Patterns of toad fatalities on a Brazilian Amazonian railroad. *Science of Total Environment*, v.660, pp. 493-500, 2019.

EASA, S. M., STRAUSS, T. R., HASSAN, Y., SOULEYRETTE, R. R. Three-dimensional transportation analysis: planning and design. *Journal of Transportation Engineering*, v.128, n. 3, 2002. Pp. 250-258.

ELLISON, R. B., TEYE, C., HENSHER, D. A. Commodity-based heavy vehicle model for Greater Sydney. 5th International Choice Modelling Conference. Cape Town, South Africa. 2017.

E.P.L, Plano Nacional de Logística 2010. Disponível em: <http://antigo.infraestrutura.gov.br/conteudo/2826-relatorios-finais.html>. Acesso em: 21/07/2021.

E.P.L, Plano Nacional de Logística 2025. 2018.

E.P.L, Plano Nacional de Logística 2035. Brasília. 2021.

ESPIG, M. J. A The construction of the southern railway from Sao Paulo to Rio Grande – 1908-1910. *Varia Historia*, v.28, n.48. 2012. P.849-869. <https://www.scielo.br/j/vh/a/W8tmCT9rGP3dYmVbxVSQ9Fq/abstract/?lang=pt> (acesso em: 18 Abril 2019).

FEARNSIDE, P.M. O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira.pp. 281-324 In: L.C. Forline, R.S.S. Murrieta and I.C.G. Vieira (eds.) *Amazônia além dos 500 Anos*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, Brasil. 566 pp . 2006.

FEARNSIDE, P. M. BR-163: a rodovia Santarém-Cuiabá e o custo ambiental de asfaltar um corredor de soja na Amazônia. Em: FEARNSIDE, P. <. *Destruição e conservação da floresta amazônica*. INPA, Manaus, 2022. 357p.



FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the Arc of Deforestation to Central Amazonia. *Environmental Management*, 38, n. 5, p. 705-716, 2006/11// 2006.

FERRARI, M. M. A expansão do sistema rodoviário e o declínio das ferrovias no Estado de São Paulo. 1981. 222 f. Tese (Doutorado em História) – Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

FERREIRA JUNIOR, J. I. Modelagem de dados geográficos para a definição do corredor do rodoanel da região metropolitana de Belo Horizonte: o caso da alça sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016, 145p.

FLETCHER, D. R. The role of geospatial technology in critical transportation infrastructure protection. In National Consortium on Remote Sensing in Transportation - Infrastructure, Report of U.S. Department of transportation, research and Special Programs Administration. 2002.

FREITAS, P. J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis. Visual Books Ltda., 2008.

GASPAR, L. Ferrovia Transnordestina. Fundação Joaquim Nabuco, Recife. 2011. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/undefined/pesquisaescolar>>. Acesso em: 13 de agosto de 2023.

GALLARDO, A. L. C. F. ; SÁNCHEZ, L. E. Follow-up of a road building scheme in a fragile environment. *Environmental Impact Assessment Review*, 24, n. 1, p. 47-58, 2004.

GALVÃO, C. B.; ROBLES, L. T.; GUERISE, L. C. 20 years of port reform in Brazil: Insights into the reform process. *Research in Transportation Business and Management*, 22, p. 153-160, 2017/3// 2017.

GONÇALVES, L. O.; KINDEL, A.; BASTAZINI A. G.; TEIXEIRA, F. Z. Mainstreaming ecological connectivity in road environmental impact assessments: a long way to go. *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. ., p. 1-6, 2022.

GOODCHIELD, M. F. Geographic data modeling. *Computer and Geosciences*, v.18, n.4, pp.401-409, 1992.

GORDON, G. *System simulation*. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1978

GOULARTI FILHO, A.. Melhoramentos, reaparelhamentos e modernização dos portos brasileiros: a longa e constante espera. *Economia e sociedade*, v. 16, p. 455-489, 2007.

GUNSON, K. E. ; TEIXEIRA, F. Z. . Road wildlife mitigation planning can be improved by identifying the patterns and processes associated with wildlife-vehicle collisions. In: Rodney van der Ree; Daniel J. Smith; Clara Grilo. (Org.). *Handbook of Road Ecology*. 1ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd. Published, 2015, v. , p. 101-109.

GUPTA, P.; JAIN, N.; SIKDAR, P. K.; KUMAR, K. Geographic information system in transportation planning. In: *Map Asia Conference*, Kuala Lumpur, 2003.

HAMILTON, H. R. Identification and ranking of the environmental impacts associated with the Unites States interstate highway system. *Transportation Research Record*, v. 1166, pp. 1-13. 1988.

HARVEY, D. A geografia da acumulação capitalista: uma reconstrução da teoria marxista. In: DAVID HARVEY. *A produção capitalista do espaço*. São Paulo: Annablume: 2005. p. 49-73.

HENSHER, D., FIGLIOZZI, M. A. Behavioural insights into the modelling of freight transportation and distribution systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 921–923. 2007.

HONORATO, C.; RIBEIRO, L.C. The emergence of port engineering in the light of capitalist modernization in Brazil 1860–1940. *Int. J. Marit. Hist.* 2020, 32, 201–217. <https://doi.org/10.1177/0843871419886807>

HUANG, R. Distance and trade: disentangling unfamiliarity effects and transport cost effects. *European Economic Review*, v.51, n1. 2007. Pp 161-181 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014292105001455>

ISA – Instituto Socio Ambiental. Com Ferrogrão, estrada dentro de terras indígenas pode virar rota de caminhões de soja. Oublicada em 13 de Julho de 2021. Disponível em <https://site-antigo.socioambiental.org/en/node/7332> (Acesso em 21/02/2023)

JAEGER, J. A. G.; BOWMAN, J.; BRENNAN, J.; FAHRIG, L. et al. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185, n. 2, p. 329-348, 2005.

KARPOWICZ, I.; GÓES, C.; GARCIA-ESCRIBANO, M. Filling the Gap: Infrastructure Investment in Brazil. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 2, n. 2, p. 1-1, 2018/11// 2018 LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 24, n. 12, p. 659-669, 2009/12// 2009.

LACERDA, R. B. Revoltas do povo da BR-163 contra crises da ambientalização do governo. *Anuário Antropológico*, v.47, n.1, pp. 19-43. 2022

LAIRD, J. J.; VENABLES, A. J. Transport investment and economic performance: A framework for project appraisal. *Transport Policy*, 56, p. 1-11, 2017/5// 2017.

LATUSZYNSKA, M.; STRULAK-WÓJCIKIEWICZ, R. Computer simulation of transport impact on environment. *Transport Problems*, T. 9, z. 1, p. 37-47, 2014/3// 2014.

LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 24, n. 12, p. 659-669, 2009/12// 2009.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LEON, M. B. ; NOBREGA, R. A. A. ; COSTA, W. L. S. . Una perspectiva ambiental en el planeamiento de la ferrovía bioceánica: modelamiento cuantitativo de escenarios. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 11, p. 444-468, 2020

LEE, M.; HOLME, P. Relating Land Use and Human Intra-City Mobility. *PLOS ONE*, 10(10), e0140152. 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140152>

LESSA, D. A. ; LOBO, C. H. F. Mobility and Urban Centralities: An Analysis Based on the Motorized Flows Attraction in Belo Horizonte/State of Minas Gerais/Brazil. *Sustainability*, v. 13, p. 10128, 2021.

LI, K.X.; LUO, M.; YANG, J. Container port systems in China and the USA; a comparative study. *Marit. Policy Manag.* 2012, 39, 461–478.

LIMA, R.S.; BRONDINO, N.C.M. e SILVA, S.N.R. Uma nova abordagem para o ensino de SIG em cursos de graduação ligados a área de planejamento de transportes. 1999, *Anais.. São Paulo: ANPET*, 1999. . Acesso em: 24 abr. 2023.

LINDERMAN, W.; WILT JUNIOR, J. R. Effectiveness of mitigation techniques at the Alafia river crossing. *Transportation Research Record*, v. 1166, pp. 9-14. 1988.

LONGLEY, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; RHIND, D. W. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. 3<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOPES, H.S.; LIMA, R.S.; LEAFL, F. Simulation project for logistic of Brazilian soybean exportation. *Int. J. Simul Model* 2020, 19, 571–582.

LOPES, H. S.; LIMA, R. A.; FERREIRA, R. C. A cost optimization model of transportation routes to export the Brazilian soybean. *Custos e Agronegócios*, v. 12, n. 4, pp. 90-109. 2016.

LOVELACE, R. Open source tools for geographic analysis in transportation planning. *Journal of Geographical Systems*, v.23, pp.547-578. 2001.

MACHADO, R. A. Condicionantes institucionais à execução do investimento em infraestrutura no Brasil: estudo de caso sobre a implantação da Transnordestina. *Texto para Discussão/IPEA*, Brasília/Rio de Janeiro, n. 2.551, nov. 2016.

MAESTRI, B., DORMAN, M. E., HARTGAN, J. Managing pollution from highway storm water runoff. *Transportation Research Record*, v. 1166, pp. 15-21. 1988.

MACKIE, P.; WORSLEY, T.; ELIASSON, J. Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 47, p. 3-18, 2014/11// 2014.

MAHMOOD, S. F. Brownfield Projects Cost & Schedule Optimization. Dhahi International Petroleum Exhibition & Conference. 10.2118/203110-MS. 2020.

MALVESTIO, A. C.; FISCHER, T. B.; MONTAÑO, M. The consideration of environmental and social issues in transport policy, plan and programme making in Brazil: A systems analysis. *Journal of Cleaner Production*, 179, p. 674-689, 2018/4// 2018.

MATOS, Odilon Nogueira de. *Café e ferrovias: a evolução ferroviária de São Paulo e o desenvolvimento da cultura cafeeira*. São Paulo: Afla-Omega; Sociologia e Política, 1974.

MEDEIROS, B. T. *Modelagem Geográfica Para Simulação de Custos de Transporte Em Bacias Logísticas*. Master's Thesis, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 2021.

MEIJER, J. R.; HUIJBREGTS, M. A. J.; SCHOTTEN, K. C. G. J.; SCHIPPER, A. M. Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, 13, n. 6, 2018/6// 2018.

MÉNDEZ, Y. GUARDIA, L. *Problema de caminho mais curto – Algoritmo de Dijkstra*. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br.spolm/files/0061.pdf>> Acesso em: 24 de setembro de 2022.

MENEZES, F. D. *Enunciados sobre o futuro: ditadura militar, Transamazônica e a construção do "Brasil grande"*. Dissertação. UNB. Brasília. 2007.

MILLER, H. J. Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, v. 31, n. 4, p. 339-373, 1999.

MInfra - Ministério da Infra Estrutura, EPL – Empresa de Planejamento e Logística. *Plano Nacional de Logística – PNL 2035. Relatório Executivo*. Brasília – DF. 2021.

MInfra - Ministério da Infraestrutura, Agência Nacional de Transportes Terrestres, *Caderno de estudos Operacionais e de Capacidade*, 2019. <https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=176> (accessed August 21, 2021)

MORAN, E. F. Government-directed settlement in the 1970s: an assessment of transamazon highway colonization. In: *The Dilemma of Amazonian Developments*. Moran E. F., Routledge, New York, 348p.

MOURA, D. A.; BOTTER, R.C. The Potential for the Growth of Maritime Transport in Brazil: Focus on Cabotage/Short Sea Shipping. In *Proceedings of the VI International Ship Design & Naval Engineering Congress and XXVI Pan-American Congress of Naval Engineering, Maritime Transportation and Port Engineering*; Springer: Cham, Switzerland, 2019.

MOURA, M.C. (2001). *Uso de Sistemas de Informações Geográficas no planejamento para otimização de rotas de distribuição*. Viçosa, 2001 – Tese de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

NAESS, P. Cost-benefit analysis of transportation investments: neither critical nor realistic. *Journal of Critical Realism*, v.5, n.1, pp.32-60, 2006.

NAZÁRIO, P.; WANKE, P.; FLEURY, P.F.; O Papel do transporte na estratégia Logística. *Ilos – Especialistas em Logística e Supply Chain*. 2000. <https://www.ilos.com.br/web/o-papel-do-transporte-na-estrategia-logistica/>. Acessado em janeiro de 2022.

NETTO, A. Notable Automobile Endurance Test in Sao Paulo, Brazil. *Bull. Pan Am. Union* 1926, 60, 1109–1120.

NIEMEIER, D. A.; BEARD, M. K. GIS and transportation planning: a case study. *Computer, Environment and Urban Systems*. V.17, n.1, pp31-43. 1993)

NOBREGA, R. A. A. Corredores de viabilidade para planejamento de infraestruturas lineares e. In: *III Congresso Iberoamericano de Biodiversidade e Infraestrutura Viária – CIBIV*. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

<https://ambientalmente.eco.br/congresso-biodiversidade-infraestrutura-viaria/>  
(Acesso em 21 janeiro 2023)

NOBREGA, R. A. A.; VIEIRA, R. R. T. ; BERBERIAN, C. F. Q. ; MASUKAWA, N. ; QUADROS, E. A. T. . Inteligência geográfica para avaliação de propostas de projeto de concessão de corredores ferroviários. Transportes (Rio de Janeiro), v. 24, p. 75-84, 2016.

NÓBREGA, R. A. A.; C. G. O'HARA; R. SADASIVUNI E B. STICH. Assessing environmental-impacted features of EIA study in corridor planning based on GIS and remote sensing technologies. Proceeding of IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 2012.

NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G. (2011). Evaluating the Design of the Streamlined GIS-based Transportation Corridors. In: Transportation Research Board 90th Annual Meeting, 2011, Washington DC. <http://www.trb.org/AnnualMeeting2011/AnnualMeeting2011.aspx>, 2011

NOBREGA, R. A. A.; STICH, B. Towards the Long-Term Recovery in Mississippi: Understanding the Impact of Transportation System for Economic Resilience. Journal of Leadership and Management., v. 12, p. 21-35, 2012

NOBREGA, R. A. A.; O'Hara, C.G. ; SADASIVUNI, R. ; DUMAS, J. . Bridging decision-making process and environmental needs in corridor planning. Management of Environmental Quality, v. 20, p. 622-637, 2009

NOGUEIRA, R.; NETO, T. GEOPOLÍTICA E RODOVIAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. Revista da Anpege, 12, p. 55-83, 2016/8// 2016.

NOVAES, A.G. Sistemas de Transportes, Volume I: Análise da Demanda, Ed. Edgar Blücher, São Paulo. 1986.



NUÑEZ, H. M.; ÖNAL, H. An economic analysis of transportation fuel policies in Brazil: Fuel choice, land use, and environmental impacts. *Energy Economics*, 55, p. 319-331, 2016/3// 2016.

OBSTFELD, M.; ROGOFF, K. The six major puzzles in international macroeconomics: is there a common cause. *NBER Macroeconomics Annual*, v. 15, n.1. 2001. Pp. 339-390.  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0001288722&origin=inward&txGid=b154d39612c9767d4e929635ac560e29>

OLIVÉ, A. *Conceptual modeling of information systems*. Springer, Berlin. 2007. 454p.

OLIVEIRA, H. C. O processo decisório de incorporação do Porto Sul à Agenda do Governo do Estado da Bahia. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Sociais, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2011.

OLIVEIRA, L. R.; FILASI, M.; LOPES, B. F. R.; MARSOLA, K. B. Logistical transportation routes optimization for Brazilian soybean: na application of the origin-destination matrix. *Ciência Rural*, v.51, n.2, e20190786, 2001

OLIVEIRA, I. K.; OLIVEIRA, L. K.; NOBREGA, R. A. A> Applying the maximum entropy model to urban freight transportation planning: an exploratory analysis of warehouse location in the Belo Horizonte Metropolitan Region. *Transportation Research Record*, v.1, 2021.

OLIVEIRA, R. V. Trabalho no Nordeste em perspectiva histórica. *Estudos Avançados*. São Paulo: IEA. v. 30, n. 87, p. 49-73. 2016.

ORTÚZAR, J. D. *Modelos econométricos de elección discreta*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, 2000. 249 p, 2000.

ORTÚZAR, J. de D.; WILLUNSEN, L. G. Modelling Transport. John Wiley & Sons, Chichester, 1994, 2001.

PAULA, D. A. Passado-presente: a extinção de ramais ferroviários durante a ditadura civil-militar. Revista HISTEDBR On-line , v.56, p.186-201, 2014.

PAULA, D. A. 154 anos de ferrovias no Brasil: para onde caminha esse trem?. História Revista (UFG) , v. 13, p. 45-69, 2008.

PARANAIBA, A. C.; CARVALHO, E. B. Prioritization of urban mobility infrastructure projects based on urban configuration and on multidimensional scaling. RAM. Revista de Administração Mackenzie, 22, n. 5, 2021.

PASSARINHO, J. G. Amazonia, o desafio dos trópicos. Primor. Rio de Janeiro. Segunda Edição. 1972.

PEDREIRA JUNIOR, J., NASCIMENTO, A. Avaliação do desempenho logístico do futuro transportes de cargas na Ferrovia de Integração Oeste Leste via Simulação de Eventos Discretos. XVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Porto de Galinhas – PE. 2015

PEINE, E. Chinese investment in the Brazilian soybean sector: Navigating relations of private governance. J. Agrar. Change 2021, 21, 71–89.

PEREIRA, E. J. A. L.; RIBEIRO, L. C. S.; FREITAS, L. F. S.; PEREIRA, H. B. B. Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. Land Use Policy, 92, p. 104491-104491, 2020.

PEREIRA, H. M. Sistema de suporte a decisão para priorização de investimentos em rodovias utilizando inteligência geográfica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade

Federal de Minas Gerais. 2018. 122 p. <https://posgrad.etg.ufmg.br/wp-content/uploads/2019/03/diss-088-Henrique-Pereira.pdf>

PEREIRA, P.A.A.; MARTHA, G.B.; SANTANA, C.A.; ALVES, E. The development of Brazilian agriculture: Future technological challenges and opportunities. *Agric Food Secur* 2012, 1, 1–12. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-4>.

PINHEIRO, K. Relembre a história da Transamazônica, a utópica rodovia na Amazonia. Portal da Amazonia. 2022. (<https://portalamazonia.com/amazonia/relembre-a-historia-da-transamazonica-a-utopica-rodovia-na-amazonia>). Acessado em 26/01/2023.

PIRA, M.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M.; PLUCHINO, A. Modelling consensus building in delphi practices for participatind transportation planning. *Transportation Planning Procedia*, v. 25, pp. 3725-3735. 2017.

POURABDOLLAHI, Z., KARIMI, B., MOHAMMADIAN, A. Joint Model of Freight Mode and Shipment Size Choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2378(312), 84–91. 2013.

PRITSKER, A.A.B. Principles of Simulation Modeling. P. 31-51. In: BANKS, J. *Handbook of Simulation*. John Wiley & Sons, Inc. 1998

QUADROS, S.G.R.; NASSI, C.D. An evaluation on the criteria to prioritize transportation infrastructure investments in Brazil. *Transp. Policy* 2015, 40, 8–16.

RAISG – Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada. *Amazônia sobpressão*. São Paulo: Instituto Socioambiental (ISA),2021.

RASHIDI, T. H., ROORDA, M. J. A business establishment 'leet ownership and composition model. *Transportation*, 45(3), 971–987. 2018.

REDDING, S. J.; TURNER, M. A. Transportation Costs and the Spatial Organization of Economic Activity. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 5, p. 1339-1398, 2015.

RESENDE, P. T. V. The current Brazilian transportation structure. In: *Structure and structural change in Brazilian economy*. Guilhoto, J. J. M., Hewings, G. J. D. Routledge, London. 2001. 404 p.

REZENDE, M. M.; SANTOS, A.; BARBOSA, I. O.; SILVA, A. A.; BEGUELLI JUNIOR, L. P.; PEDROSA, S. A.; BARRETO, A. AM; GREGÓRIO, D. AM.; PASCHE, E. L. C.; VIEIRA JUNIORS, W.; OLIVEIRA, J. S. Mapas Históricos do Departamento Nacional de Produção Mineral - Brasil. Em: *Atas do VI Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica*, 4 a 7 de Novembro de 2015. Braga, Portugal. <https://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/14322.pdf> (Acesso em 21 Janeiro 2023).

Rich, J., Holmblad, P. M., e Hansen, C. O. A weighted logit freight mode-choice model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 1006–1019. 2009.

RIVETT, P. *Model building for decision analysis*. New York: J. Wiley, 1980.

ROBERTS, M.; MELECKY, M.; BOUGNA, T.; XU, Y. S. Transport Corridors and Their Wider Economic Benefits: A Critical Review of the Literature. *Transport Corridors and Their Wider Economic Benefits: A Critical Review of the Literature*, 2018/1// 2018.

RODRIGUES, P. H.; COMTOIS, C.; SLACK, B. *The geography of transport systems*. New York: Routledge, 2006.

RONDINELLI, D.; BERRY, M. Multimodal transportation, logistics, and the environment: managing interactions in a global economy. *European Management Journal*, 18, n. 4, p. 398-410, 2000.

RUTNER, S. M.; LANGLEY, C. J. Logistics Value: Definition, Process and Measurement. *The International Journal of Logistics Management*, 11, n. 2, p. 73-82, 2000/7// 2000.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, n. 24, p. 9899-9904, 2011.

SAATY, T. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Serie A: Matemáticas*, v. 102, n. 2, p. 251–318, 2008.

SADASIVUNI, R.; NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G.; DUMAS, J. Transportation Corridor Case Study for Multi-Criteria Decision Analysis. *Proceedings of American Society of Photogrammetry and Remote Sensing 75th Annual Meeting*, Baltimore, MD. 2009.

SAKURADA, N.; MIUYAKE, D. I.; Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*. São Carlos. 2009. ISSN: 1806-9649. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2009000100004>

SAMPAIO, P.R.P.; DAYCHOUM, M.T. Two decades of rail regulatory reform in Brazil 1996–2016. *Util. Policy* 2017, 49, 93–103.

SEMAN, C. Breve Histórico Sobre a Evolução do Planejamento Nacional de Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Belo Horizonte, BR 2010.

SEO, Y.J.; PARK, J.S. The role of seaports in regional Employment: Evidence from South Korea. *Reg. Stud.* 2017, 1, 80–92. [CrossRef] 2. Park, J.S.; Seo, Y.-J. The impact of seaports on the regional economies in South Korea: Panel evidence from the augmented Solow model. *Transp. Res. Part E* 2016, 85, 107–119.

SILVA, A. N. R.; LIMA, R. S. e MELO, J. J. O. Introduzindo os sistemas de informações geográficas no ensino de engenharia de transportes. 1997, *Anais.. Rio de Janeiro: ANPET/UFRJ*, 1997. . Acesso em: 24 abr. 2023.

SMITH, J. A history of Brazil, 1st ed.,; Taylor and Francis: London, UK 2013; pp. 117–164. <https://doi.org/10.4324/9781315842882>.

SOKILOWSKI, J. A.; BANKS, C. M., *Principles of Modeling and Simulation: a Multidisciplinary Approach*, Hoboken: John Wiley and Sons, 2009.

STICH, B.; HOLLAND, J. H.; NOBREGA, R. A. A.; O’HARA, C. G. Using multi-criteria decision making to highlight stakeholders values in the corridor planning process. *Journal of Transport and Land Use*, v. 4, p. 105-118, 2011.

SILVA, G.; JAYME JR, F.; MARTINS, R. Gasto público com infraestrutura de transporte e crescimento: uma análise para os estados brasileiros (1986-2003) 1. *Revista Economia & Tecnologia*, 5, 2012/8// 2012.

SILVA, E., BERTONCINI, B., SILVA, G. Infraestrutura de transporte e desenvolvimento econômico: Uma análise a partir da construção da ferrovia Transnordestina. *Espacios*. 38. 38. 2017.

SILVA, M.; D’AGOSTO, M.A. Model to estimate the origin-destination matrix for soybean exportation in Brazil. *Journal of Transport Geography*. Brasília, vol.26, p.97-107, 2013.

SILVA, M. P.; MARUJO, L.G. Análise de modelo intermodal para escoamento da produção da soja no centro oeste brasileiro. *Journal of Transport Literature*, v.6, n.3, pp.90-106. 2012.

SILVA, S. R., FAÇANHA, A. C. A Ferrovia Transnordestina e as Transformações Territoriais no Município de Paulistana-PI. *ACTA Geográfica, Boa Vista*, v.13, n.32, mai./ago. de 2019. Pp.76- 91. 2019

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R. Traditional conservation strategies still the best option. *Nature Sustainability*, 1, n. 11, p. 608-610, 2018.

SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A. et al. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, n. 24, p. 10821-10826, 2010/6// 2010.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440, n. 7083, p. 520-523, 2006/3// 2006.

SOUSA, E. F.; ROOS, E. C.; NETO, F. J. K.; VIEIRA, G. B. B. Tariff policies and economic management: A position of the Brazilian ports, *Case Stud. Transp. Policy* 2021, 9, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.05.004>

SOUZA, C. M. A Transamazônica como um grande projeto da ditadura na década de 1970. *Life Research Group Blog, ICS-Lisboa*, <https://liferesearchgroup.wordpress.com/2017/05/23> 23. 2017. Acessado em 26/01/2023.

SOUZA, M. F.; TISLER, T. R.; CASTRO, G. S. A.; OLIVEIRA, A. L. R. Port regionalization for agricultural commodities: mapping exporting ports hinterlands. *Transportation Geography*, v. 106, 103506, 2023.

SOUZA, M. F. ; PINTO, P. H. G. ; TEIXEIRA, R. B. A. ; NASCIMENTO, C. O. L.; NOBREGA, R. A. A.. Dry port location optimization to foster sustainable regional development. SUSTENTABILIDADE EM DEBATE, v. 11, p. 208-237, 2020.

SOUZA, I. N. P. ; RIBEIRO, S. C. ; NOBREGA, R. A. A. . O papel das infraestruturas ferroviárias nas mudanças de uso e cobertura do solo no MATOPIBA. REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA (USP), v. 38, p. 123-136, 2019.

SOUZA, J. G., CAMPOS, H.O., METTIG, G., SOUZA, A. A FIOL e a Logística Territorial Baiana: Fragmentação e Limitações. RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico. 1. 73. 10.21452/rde.v15i28.2755. 2013.

TAPIA, R. J., LARRANAGA, A. M., CYBIS, H. B., DE JONG, G. A escolha de não ser discreto: discutindo a utilização de modelos discretos contínuos no transporte de carga. TRANSPORTES, 28(4), 64–75. 2020.

TCU – Tribunal de Contas da União. Processo: TC 025.638/2019-0. Sessão: 29/7/2020. Secom – SG/pn. Brasília – DF. 2020.

THORNE, J. H.; GAO, S.; HOLLANDER, A. D.; KENNEDY, J. A. et al. Modeling potential species richness and urban buildout to identify mitigation sites along a California highway. Journal of Transportation Research D, 11, p. 233 – 314-233 – 314, 2006.

TISLER, T. R.; TEIXEIRA, F. Z; NÓBREGA, R. A. A. Conservation opportunities and challenges in Brazil's roadless and railroad-less areas. Science Advances, 8(9). 2002. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abi5548>

TREVISAN, R.; BRANDÃO, S.; COSTA, L.; SILVA MORAES, R.; REIS, T.; VILELA, N.; Teixeira, C. Transamazônica trans: Cinco leituras possíveis. Revista Cadernos do Ceom. 34. 151-174. 10.22562/2021.55.11. 2021



TRIPATHI, S.; GAUTAM, V. Road Transport Infrastructure and Economic Growth in India. *Journal of Infrastructure Development*, 2, n. 2, p. 135-151, 2010/12// 2010.

TRIPP, J., ALLEY. N. Streamlining NEPA's environmental review process: Suggestions for agency reform. *New York University Environmental Law Journal*, 2004 12(1):74–110. URL <http://www1.law.nyu.edu/journals/envtllaw/issues/vol12/index.html>.

TENÓRIO, Douglas Aparatto. *Capitalismo e ferrovia no Brasil*. 2º edição. Curitiba: HD Livros, 1996.

UGEDA, L.; GONTIJO, B. *História e desafios das concessões de rodovias no Brasil*. 2017/8/ 2017.

UNITED STATES, GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. A. O., 2011. *Surface Freight Transportation: A comparison of the Costs of Road, Rail, and Waterways Freight Shipments That Are Not Passed on to Consumers*. Washintong D. C.: UNT Digital Library.

USDOT. United Stated Department of Transportation (2008). *Transportation Equity Act of the 21st Century: Moving Americans into the 21st Century*. URL <http://www.fhwa.dot.gov/tea21/index.htm>.

Vellay, C., e de Jong, G. (2003) *A simultaneous SP/RP Analysis of Mode Choice in Freight Transport in the Region Nord-Pas-de- Calais*.

VALEC, V. E. C. E. F. S. A. *Plano Diretor de Geoprocessamento 2013-2015*. Ministério dos Transportes, Brasília. Disponível em: <http://www.valec.gov.br/download/pdgeo/DocumentoPDGEOVALEC.pdf>. Acesso em: 27 Dezembro 2020

VALEC. *Relatório de impacto ambiental. Divisa Petrolina de Goiás/ Jesúpolis – Ribeirão Sete Voltas (Goianésia)*. Ministério dos Transportes. Engenharia,

Construções e Ferrovia S/A. 2002. VALEC, Trecho Açailândia (TO) – Uruaçu (GO) – Anápolis (GO). Disponível em: <  
[http://www.VALEC.gov.br/acoes\\_programas/FNSPalmasUruacuAnapolis.php](http://www.VALEC.gov.br/acoes_programas/FNSPalmasUruacuAnapolis.php)>..

VASCONCELLOS, E. A. D., 2003, Inclusion of social benefits in road transport planning.

VASCO NETO. Portos e Ferrovias: Projeção para o III milênio. Bahia Análise & Dados: Logística, Salvador, n. , p.161-172, set. 2003.

VIEIRA, J. Desafios da Ferrovia de Integração do Centro-Oeste no Cerrado. Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional. 3. 055. Blumenau. Abril 2016

WALKER, R.;PERZ, S.; ARIMA, E.; SIMMONS, C. The transamazon highway”past present and future. In: Brunn, S. (eds) Engineering Earth. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9920-4\\_33](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9920-4_33) .

WINSTON, W. L. Operations research: applications and algorithms. 3 ed. California: Duxbury Press, 1993.

## APÊNDICE A – Custo de transporte calculado

Custo de transporte calculado para os 79 municípios com maior produção de soja (90% da produção nacional) aos 10 portos elencados pela EPL calculado pelo modelo a partir da rota menos onerosa. Fonte: Medeiros (2021).

**Tabela 35:** Tabulação resultante da modelagem de rotas e macrobacias logísticas por autômato celular.

Nome Município	UF	Geocódigo	Menor_Custo 2020	Porto_Destino 2020	Menor_Custo 2025	Porto_Destino 2025
PARANAGUÁ	PR	4118204	R\$ 0,27	Paranaguá	R\$ 0,27	Paranaguá
MARINGÁ	PR	4115200	R\$ 4.148,76	Paranaguá	R\$ 4.033,66	Paranaguá
RIO VERDE	GO	5218805	R\$ 10.747,70	Santos	R\$ 7.762,42	Santos
SORRISO	MT	5107925	R\$ 18.038,43	Santarém	R\$ 10.054,40	Santarém
SANTOS	SP	3548500	R\$ 8,98	Santos	R\$ 7,32	Santos
PASSO FUNDO	RS	4314100	R\$ 3.676,20	Rio Grande	R\$ 3.634,40	Rio Grande
QUERÊNCIA	MT	5107065	R\$ 18.716,69	Itaqui	R\$ 16.463,05	Santarém
RIO GRANDE	RS	4315602	R\$ 362,75	Rio Grande	R\$ 362,75	Rio Grande
SÃO PAULO	SP	3550308	R\$ 637,12	Santos	R\$ 556,92	Santos
CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	5102637	R\$ 19.815,50	Santos	R\$ 16.697,93	Santarém
SINOP	MT	5107909	R\$ 16.686,33	Santarém	R\$ 8.709,31	Santarém
LUÍS EDUARDO MAGALHÃES	BA	2919553	R\$ 13.707,61	Itaqui	R\$ 11.326,77	Salvador
SÃO FRANCISCO DO SUL	SC	4216206	R\$ 10,05	São Francisco do Sul	R\$ 10,05	São Francisco do Sul
GUARUJÁ	SP	3518701	R\$ 15,34	Santos	R\$ 15,34	Santos
UBERLÂNDIA	MG	3170206	R\$ 5.677,86	Santos	R\$ 5.378,09	Santos
JATAÍ	GO	5211909	R\$ 11.060,07	Santos	R\$ 8.949,76	Santos
SAPEZAL	MT	5107875	R\$ 21.153,08	Santos	R\$ 19.182,56	Santarém
BALSAS	MA	2101400	R\$ 9.207,77	Itaqui	R\$ 9.168,32	Itaqui
DOURADOS	MS	5003702	R\$ 10.335,72	Paranaguá	R\$ 9.774,40	Santos
LUZIÂNIA	GO	5212501	R\$ 8.389,75	Santos	R\$ 8.065,12	Santos
CAMPOS DE JÚLIO	MT	5102686	R\$ 20.456,55	Manaus	R\$ 20.025,93	Santarém
SANTA MARIA	RS	4316907	R\$ 3.491,75	Rio Grande	R\$ 3.425,86	Rio Grande
PRIMAVERA DO LESTE	MT	5107040	R\$ 12.619,13	Santos	R\$ 12.270,44	Santos
PORTO ALEGRE	RS	4314902	R\$ 1.618,71	Rio Grande	R\$ 1.618,71	Rio Grande
RONDONÓPOLIS	MT	5107602	R\$ 10.673,67	Santos	R\$ 10.327,02	Santos
NOVA MUTUM	MT	5106224	R\$ 17.571,28	Santos	R\$ 12.591,69	Santarém
PALMAS	TO	1721000	R\$ 9.150,42	Itaqui	R\$ 9.132,14	Itaqui
DIAMANTINO	MT	5103502	R\$ 16.600,81	Santos	R\$ 14.365,35	Santarém
CRUZ ALTA	RS	4306106	R\$ 4.491,61	Rio Grande	R\$ 4.425,72	Rio Grande
UNÁI	MG	3170404	R\$ 11.282,94	Vitória	R\$ 10.306,44	Santos
BARCARENA	PA	1501303	R\$ 1.566,28	Belém	R\$ 1.552,29	Belém
VILHENA	RO	1100304	R\$ 17.554,27	Manaus	R\$ 17.419,48	Manaus
BARREIRAS	BA	2903201	R\$ 12.300,76	Salvador	R\$ 9.952,01	Salvador
PARAGOMINAS	PA	1505502	R\$ 4.435,28	Belém	R\$ 4.435,28	Belém
CANARANA	MT	5102702	R\$ 17.317,68	Santos	R\$ 16.920,91	Santos

Nome Município	UF	Geocódigo	Menor_Custo 2020	Porto_Destino 2020	Menor_Custo 2025	Porto_Destino 2025
TANGARÁ DA SERRA	MT	5107958	R\$ 17.421,88	Santos	R\$ 16.507,76	Santarém
CAMPO VERDE	MT	5102678	R\$ 12.776,60	Santos	R\$ 12.436,66	Santos
PORTO VELHO	RO	1100205	R\$ 6.852,28	Manaus	R\$ 6.676,27	Manaus
LUCAS DO RIO VERDE	MT	5105259	R\$ 19.050,82	Santarém	R\$ 11.073,80	Santarém
SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	MT	5107859	R\$ 17.318,49	Itaqui	R\$ 16.919,25	Santarém
CAMPO MOURÃO	PR	4104303	R\$ 5.723,03	Paranaguá	R\$ 5.048,08	Paranaguá
IPIRANGA DO NORTE	MT	5104526	R\$ 18.947,76	Santarém	R\$ 10.970,74	Santarém
FORMOSA DO RIO PRETO	BA	2911105	R\$ 14.485,76	Salvador	R\$ 12.249,80	Salvador
NOVA UBIRATÃ	MT	5106240	R\$ 19.287,90	Santarém	R\$ 11.388,50	Santarém
MATUPÁ	MT	5105606	R\$ 13.399,49	Santarém	R\$ 7.034,63	Santarém
SERTÃOZINHO	SP	3551702	R\$ 3.489,97	Santos	R\$ 3.397,62	Santos
PORTO FRANCO	MA	2109007	R\$ 4.986,42	Itaqui	R\$ 4.986,42	Itaqui
BRASNORTE	MT	5101902	R\$ 19.166,81	Manaus	R\$ 19.237,11	Santarém
IMBITUBA	SC	4207304	R\$ 2.194,14	São Francisco do Sul	R\$ 2.185,98	São Francisco do Sul
BOM JESUS	PI	2201903	R\$ 13.702,06	Salvador	R\$ 9.529,87	Salvador
PORTO NACIONAL	TO	1718204	R\$ 9.987,33	Itaqui	R\$ 9.986,48	Itaqui
ANAPURUS	MA	2100808	R\$ 3.193,94	Itaqui	R\$ 3.193,94	Itaqui
CORRENTINA	BA	2909307	R\$ 11.897,52	Salvador	R\$ 9.221,82	Salvador
CRISTALINA	GO	5206206	R\$ 9.329,24	Santos	R\$ 7.966,52	Santos
SANTANA DO ARAGUAIA	PA	1506708	R\$ 13.472,94	Itaqui	R\$ 11.359,94	Belém
CEREJEIRAS	RO	1100056	R\$ 18.888,31	Manaus	R\$ 18.750,03	Manaus
GUARÁÍ	TO	1709302	R\$ 8.608,47	Itaqui	R\$ 8.062,18	Itaqui
SANTA CARMEM	MT	5107248	R\$ 17.246,01	Santarém	R\$ 9.268,98	Santarém
ARAGUARI	MG	3103504	R\$ 5.859,10	Santos	R\$ 5.556,48	Santos
ÁGUA BOA	MT	5100201	R\$ 16.437,49	Santos	R\$ 16.137,51	Santos
CHAPADÃO DO SUL	MS	5002951	R\$ 7.814,71	Santos	R\$ 7.465,95	Santos
CURITIBA	PR	4106902	R\$ 545,63	Paranaguá	R\$ 580,58	Paranaguá
COLINA	SP	3512001	R\$ 3.924,66	Santos	R\$ 3.815,47	Santos
CONFRESA	MT	5103353	R\$ 17.327,92	Itaqui	R\$ 14.321,61	Santarém
SANTARÉM	PA	1506807	R\$ 52,81	Santarém	R\$ 44,47	Santarém
ITAITUBA	PA	1503606	R\$ 1.583,34	Santarém	R\$ 1.520,35	Santarém
ITAPOÁ	SC	4208450	R\$ 1.082,57	Paranaguá	R\$ 1.082,57	Paranaguá
ANTÔNIO JOÃO	MS	5000906	R\$ 12.569,22	Paranaguá	R\$ 11.631,68	Paranaguá
ITIQUIRA	MT	5104609	R\$ 12.739,15	Santos	R\$ 10.648,19	Santos
PONTA GROSSA	PR	4119905	R\$ 1.552,41	Paranaguá	R\$ 1.546,98	Paranaguá
GURUPI	TO	1709500	R\$ 11.264,39	Itaqui	R\$ 10.352,08	Itaqui
SERTANÓPOLIS	PR	4126504	R\$ 4.504,29	Paranaguá	R\$ 4.388,38	Paranaguá
CUBATÃO	SP	3513504	R\$ 75,40	Santos	R\$ 78,64	Santos
URUÇUÍ	PI	2211209	R\$ 9.658,01	Itaqui	R\$ 8.314,16	Itaqui
SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	5107768	R\$ 18.687,47	Santos	R\$ 12.889,50	Santarém
LEME	SP	3526704	R\$ 2.094,76	Santos	R\$ 2.005,50	Santos
CATALÃO	GO	5205109	R\$ 7.218,67	Santos	R\$ 6.176,75	Santos
BELA VISTA DO PARAÍSO	PR	4102802	R\$ 4.448,08	Paranaguá	R\$ 4.448,08	Paranaguá
CASCADEL	PR	4104808	R\$ 4.447,63	Paranaguá	R\$ 4.442,19	Paranaguá

## APÊNDICE B – Regras e parâmetros de variáveis

Regras de uso e parâmetros das variáveis usadas na modelagem lógica.

**Tabela 36:** Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário socioeconômico.

Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros
População	Localidades + População	<p><u>Caso 1:</u> Densidade populacional. Calcular a distância média entre as localidades para a área de estudo. A distância média será utilizada como raio para o operador Kernel. Maiores densidades receberão fator AHP=1 e a menor densidade fator AHP=9</p> <p>ou</p> <p><u>Caso 2:</u> Mapa temático das localidades segundo a classificação do IBGE. Calcular a distância média entre as localidades para a área de estudo.</p>	<p>O mapa de densidades será dividido em 9 classes. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional a densidade da classe. Ex:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior densidade, AHP=1</li> <li>- menor densidade, AHP=9</li> </ul> <p>classificação do IBGE:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. &gt;1600 k (AHP=1)</li> <li>2. 435 a 1600 k (AHP=2)</li> <li>3. 162-435 k (AHP=3)</li> <li>4. 71-162 k (AHP=4)</li> <li>5. 23-71 k (AHP=5)</li> <li>6. &lt;23k (AHP=6)</li> </ol>
		<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB agropecuário. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento.</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
PIB Agropecuário	Localidade + PIB Agropecuário	<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Industrial. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento.</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
		<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB de Serviços. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento.</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
PIB Industrial	Localidade + PIB Industrial	<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
		<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
PIB Serviços	Localidade + PIB Serviços	<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
		<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
PIB Per Capta	Localidade + PIB Per Capta	<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>
		<p>Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando a localidade e o atributo do PIB Per Capta. A superfície resultante será dividida em 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Quanto maior o valor do PIB da classe, maior a atratividade do corredor. Quanto menor o PIB, maior o esforço operacional do empreendimento</p>	<p>A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade da classe. Exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- maior PIB, AHP=1</li> <li>-menor PIB, AHP = 9</li> </ul>

Tabela 37: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário mercadológico.

Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros
<b>Soja</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (soja). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton de grãos):
	Produção agrícola (Soja)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Milho</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (milho). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton de grãos):
	Produção agrícola (Milho)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Arroz</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (arroz). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton de grãos):
	Produção agrícola (Arroz)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Trigo</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (trigo). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton de grãos):
	Produção agrícola (Trigo)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Cana</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola (trigo). A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton):
	Produção agrícola (açúcar e etanol))	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.

<b>Prod. Agric. Outros</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção agrícola. A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (ton de grãos):
	+		
	Produção agrícola (Outros)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Pecuária</b>	Centro de massa do município	Processamento de uma superfície por interpolação, utilizando o centro de massa do município e o atributo de produção animal. A superfície resultante será dividida em 9 classes conforme a produção. A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional ao valor da produção.	Mapa temático dividido em em 9 classes (unidades em tonelada):
	+		
	Produção Pecuária (bovino, suíno, aves)	Quanto maior a produção, menor o fator AHP e respectivamente maior a atratividade da área para o corredor. Quanto menor a produção, maior o fator AHP e maior o esforço operacional para corredor.	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à produção.
<b>Armazéns e Silos</b>	Localização dos armazéns e silos de armazenagem	Mapa de distância euclidiana. Raio de busca máximo 50km. A faixa de 50 Km será dividida em 9 classes para atribuição dos fatores AHP. Distâncias menores, por serem mais atrativas ao empreendimento do corredor ferroviário, receberão fatores AHP menores. Distâncias maiores receberão fatores maiores. Distâncias acima de 50Km não oferecerão atratividade ao corredor.	Distância euclidiana: 0 < Dist < 5,5Km, AHP=1 5,5 < Dist < 11Km, AHP=2 11 < Dist < 16,5Km, AHP=3 16,5 < Dist < 22Km AHP=4 22 < Dist < 27,5Km AHP=5 27,5 < Dist < 33Km, AHP=6 33 < Dist < 38,5Km, AHP=7 38,8 < Dist < 44Km, AHP=8 44 < Dist < 50Km, AHP=9
<b>Usinas de Beneficiamento</b>	Localização das usinas de beneficiamento (soja)	Mapa de distância euclidiana. Raio de busca máximo 50km. A faixa de 50 Km será dividida em 9 classes para atribuição dos fatores AHP. Distâncias menores, por serem mais atrativas ao empreendimento do corredor ferroviário, receberão fatores AHP menores. Distâncias maiores receberão fatores maiores. Distâncias acima de 50Km não oferecerão atratividade ao corredor.	Distância euclidiana: 0 < Dist < 5,5Km, AHP=1 5,5 < Dist < 11Km, AHP=2 11 < Dist < 16,5Km, AHP=3 16,5 < Dist < 22Km AHP=4 22 < Dist < 27,5Km AHP=5 27,5 < Dist < 33Km, AHP=6 33 < Dist < 38,5Km, AHP=7 38,8 < Dist < 44Km, AHP=8 44 < Dist < 50Km, AHP=9

<b>Refinaria</b>	Localização das Refinarias	<p>Mapa de distância euclidiana. Raio de busca máximo 50km. A faixa de 50 Km será dividida em 9 classes para atribuição dos fatores AHP. Distâncias menores, por serem mais atrativas ao empreendimento do corredor ferroviário, receberão fatores AHP menores. Distâncias maiores receberão fatores maiores. Distâncias acima de 50Km não oferecerão atratividade ao corredor.</p>	<p>Distância euclidiana:</p> <p>0 &lt; Dist &lt; 5,5Km, AHP=1</p> <p>5,5 &lt; Dist &lt; 11Km, AHP=2</p> <p>11 &lt; Dist &lt; 16,5Km, AHP=3</p> <p>16,5 &lt; Dist &lt; 22Km AHP=4</p> <p>22 &lt; Dist &lt; 27,5Km AHP=5</p> <p>27,5 &lt; Dist &lt; 33Km, AHP=6</p> <p>33 &lt; Dist &lt; 38,5Km, AHP=7</p> <p>38,8 &lt; Dist &lt; 44Km, AHP=8</p> <p>44 &lt; Dist &lt; 50Km, AHP=9</p>
	Localização das áreas de extração mineral (ferro, níquel, cobre, alumínio, chumbo, zinco, estanho, areia, carvão)	<p>Mapa de distância euclidiana. Raio de busca máximo 50km. A faixa de 50 Km será dividida em 9 classes para atribuição dos fatores AHP. Distâncias menores, por serem mais atrativas ao empreendimento do corredor ferroviário, receberão fatores AHP menores. Distâncias maiores receberão fatores maiores. Distâncias acima de 50Km não oferecerão atratividade ao corredor.</p>	<p>Distância euclidiana:</p> <p>0 &lt; Dist &lt; 5,5Km, AHP=1</p> <p>5,5 &lt; Dist &lt; 11Km, AHP=2</p> <p>11 &lt; Dist &lt; 16,5Km, AHP=3</p> <p>16,5 &lt; Dist &lt; 22Km AHP=4</p> <p>22 &lt; Dist &lt; 27,5Km AHP=5</p> <p>27,5 &lt; Dist &lt; 33Km, AHP=6</p> <p>33 &lt; Dist &lt; 38,5Km, AHP=7</p> <p>38,8 &lt; Dist &lt; 44Km, AHP=8</p> <p>44 &lt; Dist &lt; 50Km, AHP=9</p>



**Tabela 38:** Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário logístico.

Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros				
<b>Rodovias</b>	Densidade de Rodovias Asfaltadas	Mapa de Densidade. Calcular a distância média entre as rodovias asfaltadas na região de estudo. A distância média será utilizada como raio para o operador Kernel. O mapa temático será dividido em 9 classes. Maiores densidades receberão fator AHP=1 e a menor densidade fator AHP=9	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à densidade. Exemplo: - maior densidade, AHP=1 -menor densidade, AHP = 9				
		Mapa de distância euclidiana. Estudo da diretriz básica (azimute de orientação) e da extensão territorial da hidrovía. Serão consideradas apenas as hidrovias cuja diretriz for perpendicular (ou apresente ângulo que permita interceptar) a diretriz básica do corredor ferroviário em estudo.	Distância euclidiana: 0 < Dist < 16.6Km, AHP=1 16.6 < Dist < 33.3Km, AHP=2				
<b>Hidrovias Atrativas (transversais)</b>	Hidrovias	Hidrovias distantes mais que 150 Km não interferirão no processo. Serão adotadas 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Menores distâncias serão tratadas como atrativos à implantação da ferrovia, e receberão fatores AHP menores.	33.3 < Dist < 50.0Km, AHP=3 50.0 < Dist < 66.6Km AHP=4 66.6 < Dist < 83.3Km AHP=5 83.3 < Dist < 100.0Km AHP=6 100.0 < Dist < 116.6Km, AHP=7 116.6 < Dist < 133.3Km, AHP=8 133.3 < Dist < 150.0Km, AHP=9				
			Mapa de distância euclidiana. Estudo da diretriz básica (azimute de orientação) e da extensão territorial da hidrovía. Serão consideradas apenas as hidrovias cuja diretriz for paralela (ou não apresente ângulo que permita interceptar) a diretriz básica do corredor ferroviário em estudo.	Distância euclidiana: 0 < Dist < 16.6Km, AHP=9 16.6 < Dist < 33.3Km, AHP=8 33.3 < Dist < 50.0Km, AHP=7 50.0 < Dist < 66.6Km AHP=6 66.6 < Dist < 83.3Km AHP=5 83.3 < Dist < 100.0Km AHP=4 100.0 < Dist < 116.6Km, AHP=3 116.6 < Dist < 133.3Km, AHP=2 133.3 < Dist < 150.0Km, AHP=1			
					<b>Hidrovias Concorrentes (paralelas)</b>	Hidrovias	Hidrovias distantes mais que 150 Km não interferirão no processo. Serão adotadas 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Menores distâncias serão tratadas como concorrentes à implantação da ferrovia, e receberão fatores AHP maiores (alto esforço).

**Ferrovias  
(atrativas)**

Ferrovias existentes

Mapa de distância euclidiana. Estudo da diretriz básica (azimute de orientação) e da extensão territorial da hidrovia. Serão consideradas apenas as ferrovias cuja diretriz for perpendicular (ou apresente ângulo que permita interceptar) a diretriz básica do corredor ferroviário em estudo.

Ferrovias distantes mais que 50 Km não interferirão no processo. Serão adotadas 9 classes para a atribuição dos fatores AHP. Menores distâncias serão tratadas como atrativos à implantação da ferrovia, e receberão fatores AHP menores.

Distância euclidiana:

 $0 < \text{Dist} < 15\text{Km}$ , AHP=1 $15 < \text{Dist} < 30\text{Km}$ , AHP=2 $30 < \text{Dist} < 50.0\text{Km}$ , AHP=3

Tabela 39: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário físico.

Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros
Densidade Hidrográfica	Hidrografia	Mapa de Densidade. Calcular a distância média entre os rios na região de estudo. A distância média será utilizada como raio para o operador Kernel. O mapa temático será dividido em 9 classes. Maiores densidades receberão fator AHP=9 e a menor densidade fator AHP=1. As áreas de maior concentração de rios, como jusantes por exemplo, são mais propícias a alagamentos e solos não adequados a implantação da ferrovia, e portanto serão tratadas como áreas de maior esforço	A atribuição dos fatores AHP será diretamente proporcional à densidade. Exemplo: - maior densidade, AHP=9 -menor densidade, AHP = 1
		Mapa de distância euclidiana. A proximidade com os rios deverá repelir o corredor ferroviário pelo alto esforço atribuído aos pixels, ao passo que o aumento da distância facilitará a adoção da área para estudo de traçado. As distâncias serão divididas em 9 classes para atribuição dos fatores AHP	A atribuição dos fatores AHP será inversamente proporcional à distância. Exemplo: - maior distância, AHP=1 -menor distância, AHP = 9
Distância de Rios	Hidrografia	Mapa de declividade em Percentagem de Rampa. A declividade será apresentada em 7 classes. A atribuição dos fatores AHP será diretamente proporcional ao aumento do valor da declividade do terreno.	D < 2%, AHP=1 2 < D < 4%, AHP=2 4 < D < 8%, AHP=3 8 < D < 12%, AHP=4 12 < D < 20%, AHP=5 20 < D < 30%, AHP=7 D > 30%, AHP=9
		Mapa de Declividade	
Declividade	Mapa de Declividade		
Geomorfologia	Geomorfologia	Mapa de Classes Geomorfológicas. O intuito as classes das formações geomorfológicas é o de orientar a definição do corredor para evitar áreas excessivamente acidentadas. A geomorfologia, ainda que numa perspectiva macro, indica indiretamente a formação geológica da região, que pode comprometer o esforço do empreendimento.	Planícies e Planaltos, AHP=1 Depressões, AHP = 3 Patamares, AHP = 4 Tabuleiros, AHP = 5 Chapadas, AHP=5 Serras, AHP=9

**Tabela 40: Modelagem Lógica: estratégias definidas para o cenário ambiental.**

Variável	Dados Geográficos	Regra de Uso	Parâmetros
<b>Terras Indígenas Demarcadas ou Homologadas</b>	Terras indígenas demarcadas ou homologadas	O polígono da área indígena será tratado como máscara restritiva. Será criado um buffer de 5Km para o polígono. Será atribuído o fator AHP = 9 para a área contida no buffer. A regra impede a ocupação da área indígena, e dificulta a ocupação da área no entorno da terra indígena	Máscara restritiva no polígono da área indígena.  Buffer de 5 km com fator AHP=9 para área de amortecimento
<b>Terras Indígenas em estudo</b>	Terras indígenas em estudo	Se a área for polígono, ela deverá ser tratada como máscara restritiva. Se for ponto, gerar buffer de 5 Km e tratar como máscara restritiva. Gerar buffer de 5 Km para o polígono ou novo buffer de 5 km sobre o buffer anterior para área de amortecimento, a qual receberá fator AHP=7	Máscara restritiva no polígono da área indígena ou no entorno de 5k do ponto.  Buffer de 5 km com fator AHP=7 para área de amortecimento
<b>RPPN</b>	RPPN	Máscara restritiva sem buffer.	Máscara restritiva sem buffer.
<b>Unidade de Conservação Proteção Integral</b>	UC - PI	Máscara restritiva sobre o polígono.  Buffer de 10 Km para zona de amortecimento. Será atribuído o fator AHP = 7 para a área contida no buffer.	Máscara restritiva no polígono da UC.  Buffer de 10 km com fator AHP=7 para amortecimento
<b>Unidade de Conservação Uso Sustentável</b>	UC - US	Máscara restritiva sobre o polígono.  Buffer de 5 Km para zona de amortecimento. Será atribuído o fator AHP = 7 para a área contida no buffer.	Máscara restritiva no polígono da UC.  Buffer de 5 km com fator AHP=7 para amortecimento
<b>APA</b>	APA	Será atribuído o fator AHP=2 para o polígono da APA. Não haverá buffer.	Fator AHP=2
<b>Sítio Arqueológico</b>	Sítios arqueológicos	Buffer de 1 Km, com fator AHP=9. A medida não impede a ocupação de uma sítio arqueológico, porém dificulta a adoção da área elevando o esforço.	Buffer 1Km com fator AHP=9
<b>Caverna</b>	Caverna	Buffer de 1 Km, com fator AHP=9. A medida não impede a ocupação de áreas de caverna, porém dificulta a adoção da área elevando o esforço.	Buffer 1Km com fator AHP=9
<b>Quilombos</b>	Quilombos	Polígono não restritivo. Fator AHP = 7. A medida não restringe a ocupação da área, porém dificulta a adoção pela elevação do esforço	Fator AHP=7
<b>Assentamentos</b>	Assentamentos	Polígono não restritivo. Fator AHP = 7. A medida não restringe a ocupação da área, porém dificulta a adoção pela elevação do esforço	Fator AHP=7

## APÊNDICE C – Apresentação gráfica da modelagem

Apresentação gráfica do modelo e submodelos utilizados no estudo das alternativas de corredor de viabilidade as BR080 e BR242.

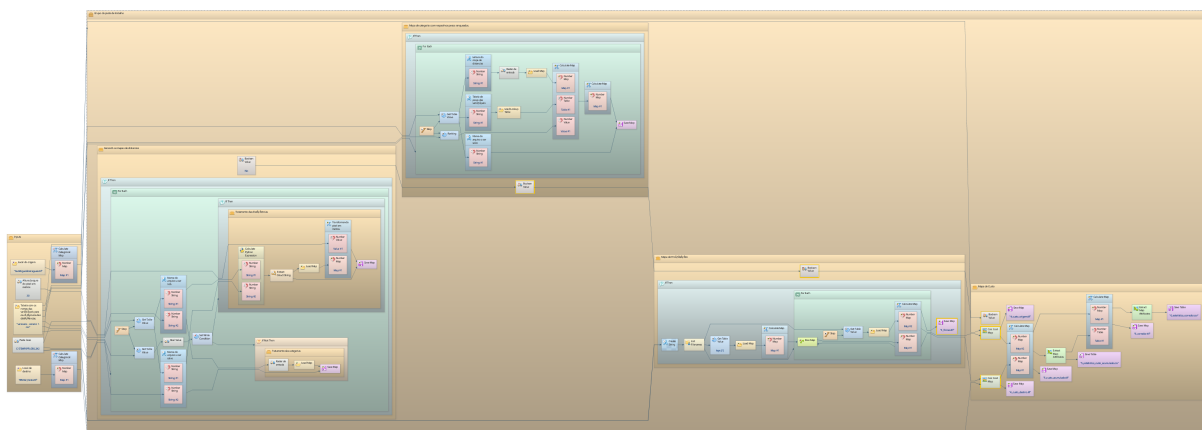
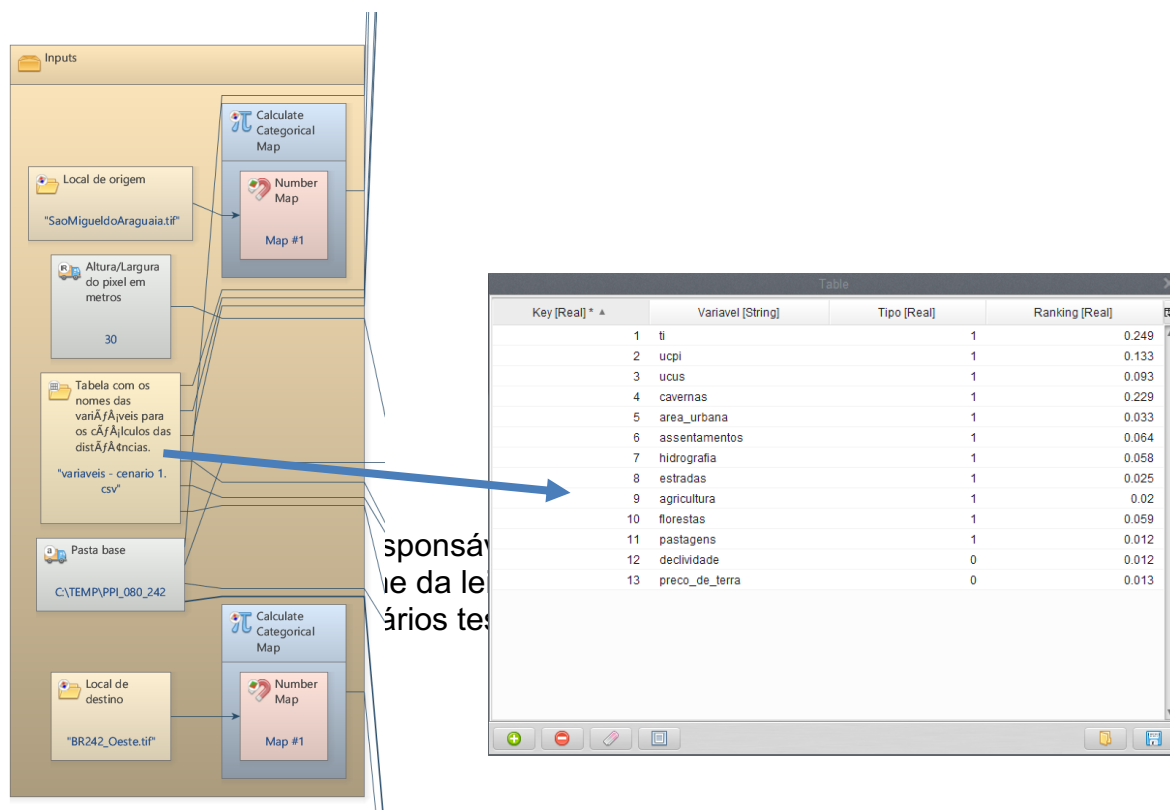
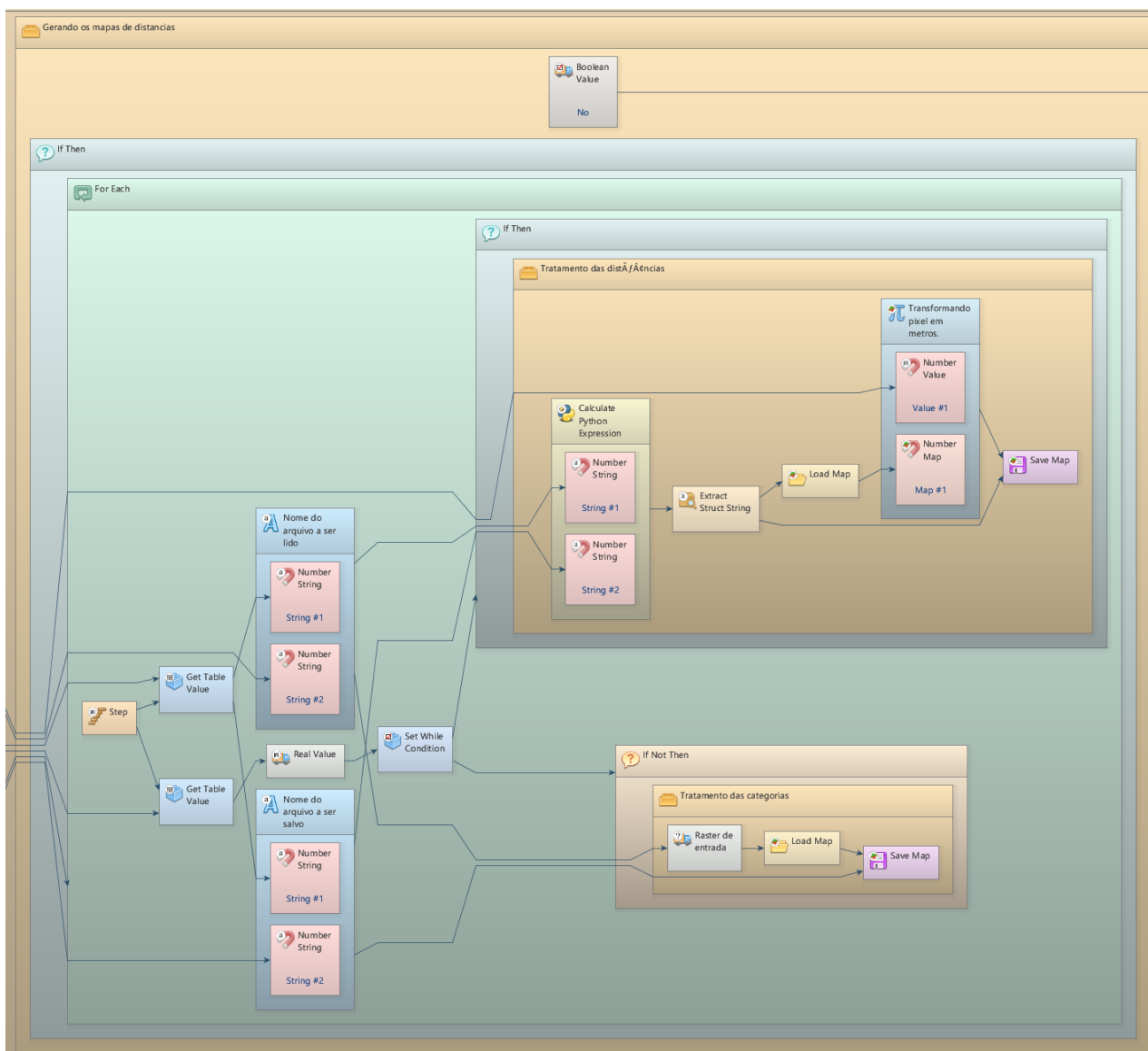
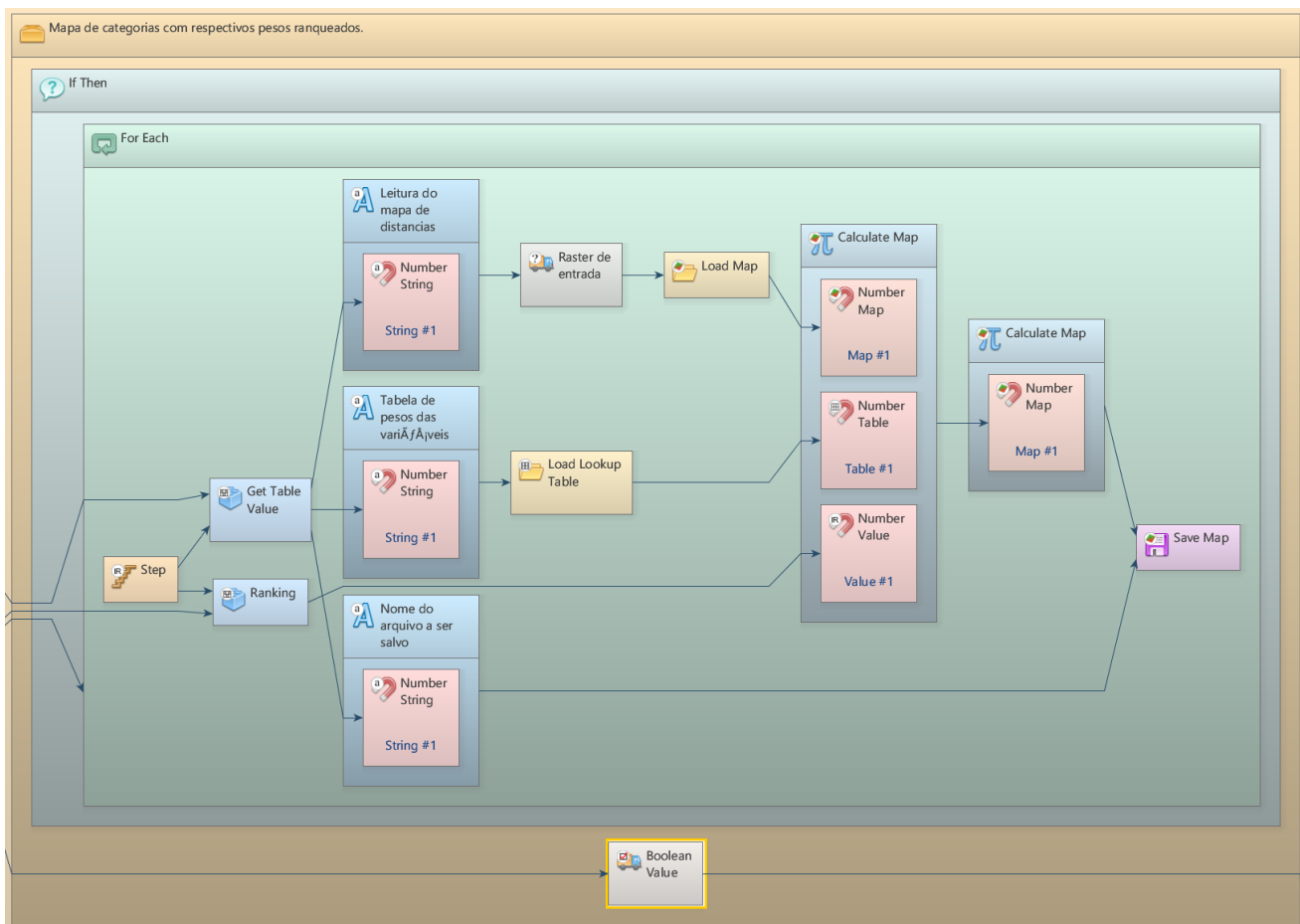


Figure 85: Visão geral do modelo com os 5 submodelos supracitados

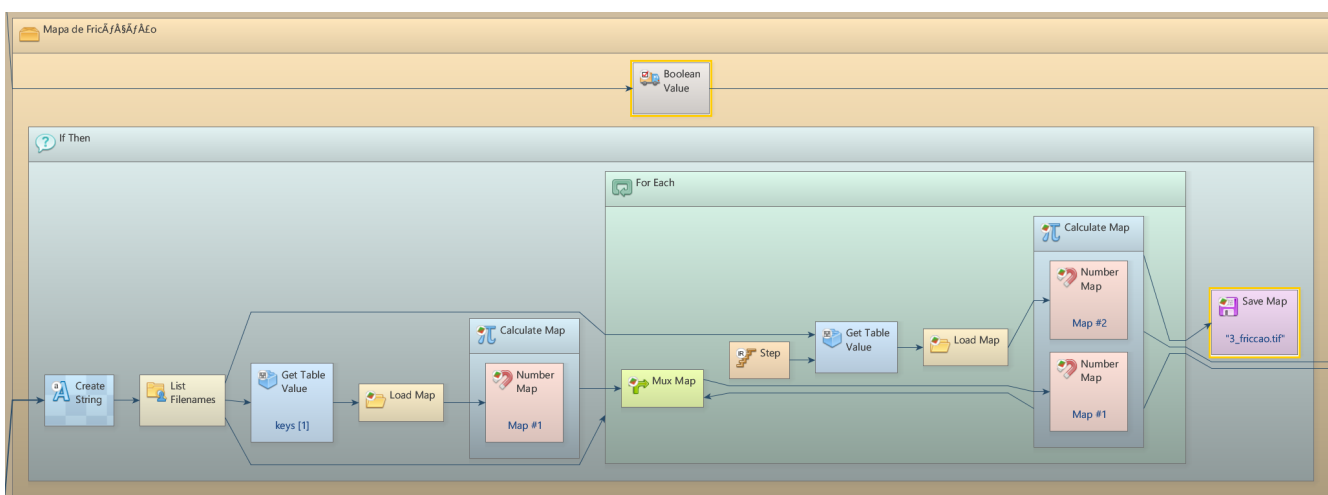




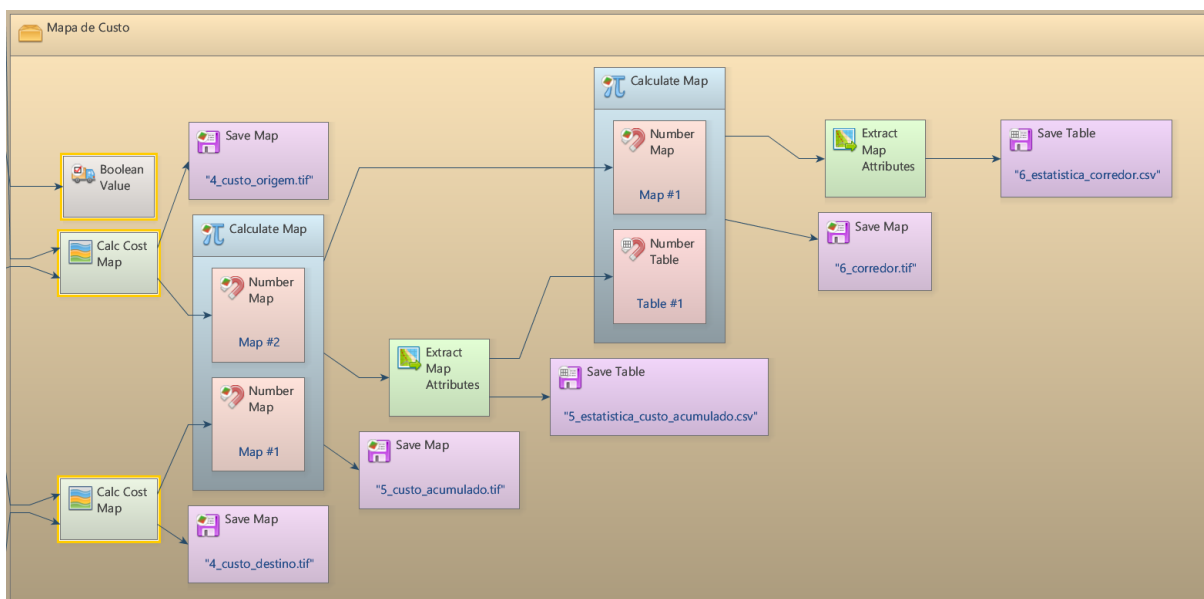
**Figure 86:** Submodelo 2 responsável pelo cálculo das superfícies de distâncias euclidianas para as variáveis consideradas no modelo.



**Figure 87:** Submodelo 3 responsável pela categorização das superfícies e atribuição dos pesos para as variáveis.



**Figure 88:** Submodelo 4 responsável pela integração das superfícies ponderadas e cálculo da superfície de custo acumulado, também chamada de superfície de esforço ou fricção.



**Figure 89:** Submodelo, responsável pelo cálculo das superfícies de custo de distância, cálculo do corredor de viabilidade, a integração das superfícies ponderadas e cálculo da superfície de custo acumulado, também chamada de superfície de esforço ou fricção.