

Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

**OTIMIZAÇÃO BIOBJETIVO DO TRANSPORTE
RODOFERROVIÁRIO DA SOJA DE GOIÁS PARA EXPORTAÇÃO:
ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Jucelina Leandro Borges

OTIMIZAÇÃO BIOBJETIVO DO TRANSPORTE RODOFERROVIÁRIO DA SOJA DE GOIÁS PARA EXPORTAÇÃO: ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Jucelina Leandro Borges

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientadora: Maria José Pereira Dantas, Profa., Dra.

Goiânia
Outubro 2023

B732o Borges, Jucelina Leandro

Otimização biobjetivo do transporte rodoferroviário da soja de Goiás para exportação : aspectos econômicos e ambientais / Jucelina Leandro Borges.-- 2023.
136 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria José Pereira Dantas.
Dissertação (mestrado) -- Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola Politécnica, Goiânia, 2023.

Inclui referências: f. 108-115.

1. Transporte ferroviário. 2. Soja - Transporte - Goiás (Estado). 3. Sustentabilidade e meio ambiente. 4. Otimização matemática. I. Dantas, Maria José Pereira. II. Pontifícia Universidade Católica de Goiás Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - 02/10/2023. III. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 338.47(043)

OTIMIZAÇÃO BIOBJETIVO DO TRANSPORTE RODOFERROVIÁRIO DA SOJA DE GOIÁS PARA EXPORTAÇÃO: ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

JUCELINA LEANDRO BORGES

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás em 2 de outubro de 2023.

Prof. Marcos Lajovic Carneiro, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas

Banca examinadora



Documento assinado digitalmente
MARIA JOSE PEREIRA DANTAS
Data: 28/02/2024 21:32:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Maria José Pereira Dantas, Dra.
Presidente da Banca/Orientadora – PUC Goiás



Documento assinado digitalmente
JOSE ELMO DE MENEZES
Data: 02/03/2024 16:29:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. José Elmo de Menezes, Dr.
Avaliador Interno – PUC Goiás



Documento assinado digitalmente
ANTONIO NILSON ZAMUNER FILHO
Data: 01/03/2024 07:50:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Antônio Nilson Zamunér Filho, Dr.
Avaliador Externo – UFCat

Goiânia – Goiás

Outubro 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pelo dom da vida e pela sabedoria concedida a mim.

À minha orientadora, Professora Dra. Maria José Pereira Dantas pela parceria, pelos incentivos nos momentos de dificuldades, por todos os conselhos e orientações, pelo empenho em ajudar a desenvolver a minha dissertação e pelo estímulo contínuo ao crescimento e ao comportamento otimizador. Minha gratidão e admiração.

Ao Professor Antônio Nilson Zamunér Filho pelas contribuições e conselhos valiosos sobre a elaboração e aprimoramento desta pesquisa.

Aos professores José Elmo de Menezes e Antônio Nilson Zamunér Filho pelo tempo disponibilizado para participar da banca de qualificação, contribuindo com observações.

Aos alunos de iniciação científica de ciência da computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO) Eliel Lucas de Oliveira e Lucas Gabriel de Godoi Arriel, que desenvolveram recortes desta pesquisa e colaboraram com conhecimentos na área de otimização e desenvolvimento de matriz Origem/Destino.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO), que me trouxe muito aprendizado e crescimento, estendendo os agradecimentos também aos docentes e funcionários do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas.

À equipe da Rumo Logística pela oportunidade de possibilitar a visita ao terminal de cargas de Rio Verde, Goiás.

À minha família e amigos pelo apoio, motivação e compreensão. Especial agradecimento à minha tia Fátima e à minha irmã Cacilda.

À minha mãe Maria Abadia Leandro Borges (*in memoriam*), que apesar do pouco tempo de convivência que tivemos, me ensinou a ser uma boa ouvinte e me inspirou a iniciar a carreira docente com seu brilho inspirador de futuras gerações.

Por fim, meus agradecimentos a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Este estudo tem como foco a melhoria do transporte rodoferroviário de soja produzida em Goiás com destino à exportação, almejando uma cadeia de suprimentos mais sustentável. Reconhecendo-se o Brasil como líder mundial na produção de soja e o estado de Goiás o terceiro maior produtor nacional, identificam-se desafios econômicos e ambientais significativos no transporte desse produto. A pesquisa propõe uma solução otimizada que busca equilibrar a eficiência logística com a sustentabilidade, tratando simultaneamente a redução dos custos de frete e as emissões de CO₂. Realizaram-se duas análises principais: inicialmente o impacto financeiro e ambiental resultante da implementação da ferrovia Rumo Malha Central (RMC) a partir de março de 2021, explorando diferentes cenários de transporte para 2022 e posteriormente, com vistas a 2035, o uso de uma otimização biobjetivo determinística utilizando fronteiras de Pareto, metodologia que busca soluções equilibradas entre a redução de custos e emissões de CO₂. A análise de 2035 englobou dados de 46 municípios goianos, seis pontos de transbordo e quatro portos, incluindo Ilhéus/BA e São Luiz/MA (Itaqui). Na análise do impacto da inclusão da RMC os resultados indicaram economias significativas com a ativação da RMC, com destaque para a redução de 11 milhões de reais em custos de frete e 3 milhões pela diminuição de 38.625 toneladas de CO_{2e}. A projeção para 2035 evidenciou um incremento no uso do transporte rodoferroviário de 34% para 69%, com uma preferência por rotas ferroviárias que mesmo sendo mais extensas priorizaram a minimizar as emissões, implicando um aumento nos custos de transporte. Entretanto, a análise de um ponto intermediário na curva de Pareto revelou um equilíbrio entre os custos e as emissões, estabelecendo uma referência para decisões conscientes no transporte. Os resultados da estratégia otimizada demonstraram diferentes indicações de custos e de emissões de CO₂, explorando variadas opções de rotas proporcionando *insights* valiosos para a logística do transporte de soja. Sugere-se a integração de pontos de transbordo rodoferroviário viáveis no horizonte previsto para aprimorar a logística, ressaltando a abordagem biobjetiva que vai além da minimização convencional de custos, permitindo uma avaliação mais abrangente que contempla aspectos econômicos e ambientais. Este estudo enfatiza a necessidade de adaptar a infraestrutura logística para promover uma cadeia de suprimentos mais ecologicamente correta, apesar das limitações metodológicas e da necessidade de realizar estimativas. Pesquisas futuras poderiam ampliar a aplicação de modelos de otimização, abordar outros elementos do transporte rodoferroviário.

Palavras-chave: Transporte verde, frentes de Pareto, método *epsilon*-restrito, solver Gurobi.

ABSTRACT

This study focuses on improving the road-rail transportation of soybeans produced in Goiás for export, with the aim of achieving a more sustainable supply chain. Given that Brazil is the world leader in soybean production and that the State of Goiás is the third largest national producer, significant economic and environmental challenges are identified in the transportation of this product. The research proposes an optimized solution that reconciles logistics efficiency with sustainability, adopting green logistics practices to reduce freight costs and CO₂ emissions. Two main analyses were carried out: first, the financial and environmental impact resulting from the implementation of the Rumo Malha Central (RMC) railroad from March 2021, exploring different transportation configurations for 2022, and then, with a view to 2035, the use of deterministic bi-objective optimization using Pareto frontiers, a methodology that seeks balanced solutions between reducing costs and CO₂ emissions. The 2035 analysis included data from 46 municipalities in Goiás, six transshipment points and four ports, including Ilhéus/BA and São Luiz/MA (Itaqui). In the analysis of the impact of including the RMC, the results indicated significant savings with the activation of the RMC, with emphasis on the reduction of 11 million reais in freight costs and 3 million due to the reduction of 38,625 tons of CO_{2e}. The projection for 2035 showed an increase in the use of road-rail transport from 34% to 69%, with a preference for rail routes that, despite being longer, prioritized minimizing emissions, implying an increase in transport costs. However, analysis of an intermediate point on the Pareto curve revealed a balance between costs and emissions, providing a benchmark for conscious transportation decisions. The results of the optimized strategy showed different indications of costs and CO₂ emissions, exploring different route options, and providing valuable insights for soybean transportation logistics. The integration of viable road-rail transshipment points in the forecast horizon is suggested to improve logistics, highlighting the bio-objective approach that goes beyond conventional cost minimization, allowing for a more comprehensive evaluation that considers economic and environmental aspects. Despite the methodological limitations and the need for estimation, this study highlights the need to adapt the logistics infrastructure to promote a greener supply chain. Future research could expand the application of optimization models and address other elements of road-rail transportation.

Keywords: Green transport, Pareto fronts, epsilon-restricted method, Gurobi solver.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa da malha ferroviária no estado de Goiás	16
Figura 2 Participação das malhas rodoviárias e ferroviárias no mundo	19
Figura 3 Logística de transporte de soja	23
Figura 4 Comparativo entre os modais – tonelagem, distância e tipos de mercadorias	23
Figura 5 Mapa do fluxo do transporte dos grãos de soja e milho - 2015.....	24
Figura 6 Ferramenta computacional - Seleção de Artigos Científicos do WoS	29
Figura 7 Rede de palavras chaves do autor e da base – artigos citados pelos artigos do portfólio.	34
Figura 8 TRV com as divisões de etapas: Portaria, Classificação, Balança, Tulhas, Armazéns, Tombadores, Pátio e Balança de saída.....	37
Figura 9 Estrutura da cadeia produtiva e logística da soja para exportação	37
Figura 10 Rede a ser analisada neste estudo	38
Figura 11 Gráfico da planilha de previsão, destacando os dados dos anos de 1976, 1983, 1993, 2003, 2013, 2017, 2022, 2033, 2034 e 2035.....	43
Figura 12 Representatividade das malhas ferroviárias em % de TKU (Tonelada Km Útil) ...	47
Figura 13 Representatividade das principais cargas, em % de TKU (Tonelada Km Útil)	47
Figura 14 Mapa da malha ferroviária.....	49
Figura 15 Definição e localização dos <i>clusters</i> portuários.....	55
Figura 16 Demanda vs. capacidade de graneis sólidos vegetais por cluster portuário [Figura 15 do PNLP]	56
Figura 17 Representatividade dos produtos de granel sólido vegetal nas movimentações: observado (2018) [Gráfico 11 do PNLP].....	57
Figura 18 Crescimento e participação por natureza de carga: observado (2018) e projetado (2019-2060) [Gráfico 4 do PNLP]	58
Figura 19 Dados do simulador de gases de efeito estufa para os transportes rodoviários e ferroviários.....	74
Figura 20 Frente de Pareto do transporte intermodal, um estudo de caso na <i>Turkey</i>	81
Figura 21 Representação gráfica do resultado do cenário 01.....	83
Figura 22 Representação gráfica do resultado do cenário 02.....	84
Figura 23 Representação gráfica do resultado do cenário 03.....	86
Figura 24 Representação gráfica do resultado do cenário 04.....	87
Figura 25 Gráfico dos resultados da otimização	91
Figura 26 Mapa interativo do roteamento da amostra 01 (Menor frete).....	93
Figura 27 Mapa interativo do roteamento da amostra 08 (valores Intermediários frete e emissão de CO ₂).....	96

Figura 28 Mapa interativo do roteamento da amostra 45 (menor emissão de CO_2)	98
Figura 29 Representação gráfica do resultado das amostras A01 e A45, respectivamente....	101
Figura 30 Mapas dos roteamentos das amostras A01 e A45, respectivamente	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Palavras-chave x Quantidade de artigos	32
Tabela 2	Volumes de soja produzida nos 46 municípios e a média percentual dos volumes nos anos 2017 a 2021	40
Tabela 3	Volumes de soja produzida nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035	44
Tabela 4	Volumes médio de soja ofertada nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035.....	45
Tabela 5	Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Itaquí e Ilhéus...	60
Tabela 6	Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos	61
Tabela 7	Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri.....	62
Tabela 8	Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e de São Simão.....	63
Tabela 9	Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e de Figueirópolis	64
Tabela 10	Distâncias ferroviárias entre os transbordos e os portos	65
Tabela 11	Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Itaquí e Ilhéus	68
Tabela 12	Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos	69
Tabela 13	Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri	70
Tabela 14	Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e São Simão.....	71
Tabela 15	Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e Figueirópolis.....	72
Tabela 16	Custos dos fretes ferroviários entre os transbordos e os portos.....	73
Tabela 17	Modelo genérico de uma matriz origem destino	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Classificação da pesquisa.....	28
Quadro 2 Apresentação das fases do método <i>ordinatio</i>	30
Quadro 3 <i>Strings</i> de busca e <i>links</i> de pesquisa na <i>WoS</i> sobre otimização de transporte de carga verde	31
Quadro 4 Quantitativos de palavras-chave de cada uma das 6 exportações	32
Quadro 5 Extrato dos 12 artigos selecionados para leitura.	33
Quadro 6 Qualidade das fontes dos artigos do portfólio.....	34
Quadro 7 Planilha de previsão, referente ao volume de soja produzida no estado de Goiás, com média dos valores de previsão e limite de confiança para os anos de 2034 e 2035	42
Quadro 8 Resumo das capacidades dos transbordos (em toneladas).....	52
Quadro 9 Principais portos exportadores de soja e de farelo de soja, em janeiro a junho de 2022 e 2023.....	52
Quadro 10 Portos x características referente ao transporte ferroviário.....	53
Quadro 11 Percentual de capacidade dos portos para análise no ano de 2022.....	56
Quadro 12 Percentual de capacidade dos portos para análise no ano de 2035.....	56
Quadro 13 Capacidade de demanda dos <i>clusters</i> , para farelo de soja e grãos de soja, em 2022	58
Quadro 14 Capacidade de demanda dos <i>clusters</i> , para farelo de soja e grãos de soja, em 2035	59
Quadro 15 Resumo das capacidades dos portos (em toneladas)	59
Quadro 16 Distâncias (m) para análise dos cenários 01 a 04.....	66
Quadro 17 Custos dos fretes para análise dos cenários 01 a 04	73
Quadro 18 Comparativo entre modais de transporte	76
Quadro 19 Resultados da rota do cenário 01.....	83
Quadro 20 Resultados dos dados da rota do cenário 02.....	85
Quadro 21 Resultados da rota do cenário 03.....	86
Quadro 22 Resultados da rota do cenário 04.....	87
Quadro 23 Totais dos cenários 01 a 04	88
Quadro 24 Economia dos cenários 02, 03 e 04 em relação ao cenário 01	88
Quadro 25 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO ₂ - Amostra A01	92
Quadro 26 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO ₂ - Amostra A03	94
Quadro 27 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO ₂ - Amostra A08	95

Quadro 28 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO ₂ - Amostra A15	97
Quadro 29 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO ₂ - Amostra A45	99
Quadro 30 Relação entre Função objetivo de CO ₂ e o transporte rodoviário	104
Quadro 31 Relação entre Função objetivo de frete e o transporte rodoferroviário	104
Quadro 32 Relação entre as amostras e a utilização percentual dos portos	105
Quadro 33 Resultados A01- Municípios goianos ao porto	116
Quadro 34 Resultados A01 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto	118
Quadro 35 Resultados A03 - Municípios goianos ao porto	120
Quadro 36 Resultados A03 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto	121
Quadro 37 Resultados A08 - Municípios goianos ao porto	123
Quadro 38 Resultados A08 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto	124
Quadro 39 Resultados A15 - Municípios goianos ao porto	126
Quadro 40 Resultados A15 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto	127
Quadro 41 Resultados A45 - Municípios goianos ao porto	130
Quadro 42 Resultados A45 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto	131

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS.....	IX
SUMÁRIO.....	XI
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA	15
1.2. OBJETIVO.....	17
1.2.1. Objetivo geral.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.2.3. Organização da dissertação	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1. LOGÍSTICA VERDE E O TRANSPORTE DE SOJA NO BRASIL.....	19
2.2. DADOS DA SOJA NO ESTADO DE GOIÁS.....	24
2.3. OTIMIZAÇÃO BIOOBJETIVO COM O ALGORITMO DETERMINÍSTICO E FRONTEIRAS DE PARETO	26
3. METODOLOGIA	28
3.1. ELABORAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO	28
3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA COM FOCO EM MODELOS.....	28
3.3. COLETA E PREPARAÇÃO DOS DADOS	35
3.3.1. Passo 1 - Estruturação da cadeia produtiva e logística da soja e síntese dos dados de entrada para as próximas etapas.....	35
3.3.2. Passo 2 - Estabelecer cenários para analisar o impacto financeiro da não emissão de CO ₂ e do impacto do início da operação da RMC	35
3.3.3. Passo 3 - Estabelecer critérios para analisar os resultados do processamento da otimização do comportamento do transporte rodoferroviário para 2035.....	36
3.4. CADEIA PRODUTIVA E LOGÍSTICA DA SOJA E SÍNTESE DOS DADOS DE ENTRADA PARA AS PRÓXIMAS ETAPAS	36
3.4.1. Produção (Volume de oferta de soja e farelo de soja).....	38
3.4.2. Exportação de soja e farelo de soja	45
3.4.3. Dados gerais da cadeia de transporte da soja (uni e multimodal)	46
3.4.4. Terminais ferroviários	46
3.4.4.1. Dados da via ferroviária.....	46
3.4.4.2. Dados gerais dos terminais/estações de transbordo.....	48
3.4.4.3. Terminais de General Curado e Ipameri	49
3.4.4.4. Terminais de São Simão e Rio Verde.....	50
3.4.4.5. Terminais de Porto Nacional e de Figueirópolis	50

3.4.4.6.	Resumo das capacidades dos transbordos nos anos 2017, 2022 e 2035.....	51
3.4.5.	Portos e a exportação de soja e farelo de soja.....	52
3.4.5.1.	Porto de Ilhéus/BA	54
3.4.5.2.	Capacidade dos portos (2022 e 2035).....	55
3.4.6.	Distâncias de transporte	59
3.4.6.1.	Distâncias do trecho rodoviário (Goiás ao porto e Goiás ao transbordo)...	59
3.4.6.2.	Distâncias do trecho ferroviário (transbordo ao porto).....	65
3.4.6.3.	Distâncias do trecho rodoferroviário para o ano de 2022	66
3.4.7.	Custo de frete	67
3.4.7.1.	Custo do frete rodoviário	67
3.4.7.2.	Custo do frete ferroviário.....	73
3.4.7.3.	Custo do frete rodoferroviário para o ano de 2022.....	73
3.4.8.	Emissão de CO₂.....	74
3.5.	IMPACTO FINANCEIRO DA NÃO EMISSÃO DE CO ₂ E DO IMPACTO DO INÍCIO DA OPERAÇÃO DA RMC NOS CENÁRIOS 01 A 04.....	75
3.6.	MODELAGEM MATEMÁTICA DO TRANSPORTE	76
3.6.1.	Matriz origem/destino.....	77
3.6.2.	Modelo de otimização adaptado para o problema de transbordo.....	78
3.6.3.	Solver <i>Gurobi</i>	80
3.6.4.	Frente de Pareto.....	80
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
4.1.	ANÁLISE DO IMPACTO FINANCEIRO DA NÃO EMISSÃO DE CO ₂ E DO IMPACTO DO INÍCIO DA OPERAÇÃO DA RMC NOS CENÁRIOS 01 A 04.....	82
4.1.1.	Referências aos dados de entrada para análise dos cenários 01 a 04.....	82
4.1.2.	Cenário 01 - Transporte 100% rodoviário.....	83
4.1.3.	Cenário 02 - Transporte 97% Rodoviário e 3% rodoferroviário.....	84
4.1.4.	Cenário 03 - Transporte 73% Rodoviário e 27% rodoferroviário.....	85
4.1.5.	Cenário 04 - Transporte 100% rodoferroviário.....	87
4.1.6.	Resumo dos resultados dos cenários 01 a 04.....	88
4.2.	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO TRANSPORTE RODOFERROVIÁRIO OTIMIZADO PARA 2035	90
4.2.1.	Resultados da otimização de 2035 - Amostra A01 Menor frete.....	91
4.2.2.	Resultados da otimização de 2035 - Amostra A03 Baixo valor de frete	94
4.2.3.	Resultados da otimização de 2035 - Amostra A08 Ponto intermediário de frete e de emissão de CO ₂	95
4.2.4.	Resultados da otimização de 2035 - Amostra A15 Baixo valor de emissão de CO ₂	97
4.2.5.	Resultados da otimização de 2035 - Amostra A45 Menor emissão de CO ₂ e maior frete	98
4.2.6.	Análise comparativa das amostras 01 e 45.....	100
4.2.7.	Comentário dos resultados das amostras A01, A03, A08, A15 e A45	104
5.	CONCLUSÃO	107

REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICES	116
APÊNDICE A: DADOS SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO DE RESULTADOS.....	116
APÊNDICE B: TERMINAL DE RIO VERDE - GOIÁS.....	134

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de soja, segundo dados da Embrapa para a safra 2021/22, corresponde à 355,6 bilhões de toneladas e a produção brasileira cerca de 124 bilhões de toneladas, ou seja, o Brasil produz 35% da soja mundial (EMBRAPA, 2022b). Diante disso o Brasil é o maior produtor de soja do mundo. Segundo dados da CONAB (2023c) para safra de 22/23: o Centro-Oeste é destaque das principais regiões produtoras de soja, pois detém pouco mais de 54,26% da produção brasileira; o estado de Goiás registrou a terceira maior produção brasileira, com cerca de 11,41% da produção nacional, o que coloca Goiás como o terceiro maior produtor de soja do Brasil e o segundo maior produtor no centro-oeste.

Desta forma, o transporte da soja é um aspecto importante para a economia do estado de Goiás, já que a soja é um produto de grande valor e volume que precisa ser movimentado para os locais de processamento e exportação. O transporte da soja no Brasil ocorre principalmente por caminhões e trens. Os percentuais de participação do modal rodoviário (64,86%) e do ferroviário (14,95%) podem ser inferidos da matriz do transporte de cargas da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2023).

Péra, Caixeta-Filho, Salin (2021) consideram que o país possui uma infraestrutura rodoviária desbalanceada, pois há: trechos não pavimentados, como ocorre no transporte de soja das fazendas aos armazéns ou usinas de processamento; trechos pavimentados, principalmente nas rodovias federais. Além disso, durante a estação chuvosa, muitas estradas no Brasil ficam intransitáveis, o que pode dificultar ainda mais o transporte rodoviário da soja.

O transporte ferroviário brasileiro se destina mais ao transporte de mercadorias e insumos. Péra, Caixeta-Filho, Salin (2021) destacam que o transporte ferroviário é um dos modais que transportam um elevado volume de grãos em uma única viagem, o que pode ser especialmente benéfico para commodities a granel, como a soja.

Em Goiás a inauguração do terminal rodoferroviário de Rio Verde, trecho concessionado à Rumo Logística, ocorreu em março de 2021 e após esta data houve aumento do transporte de carga com variadas inserções de novos tipos de mercadoria e acréscimos de novas matrizes de Origem/Destino para o tramo da Rumo Malha Central (RMC). Segundo dados da ANTT (2023b), no trajeto de Rio Verde a Santos em junho de 2021 a quantidade de soja transportada era 15.782 Toneladas Úteis e em junho de 2022 este valor estava igual à 161.120 Toneladas Úteis. Desta forma é possível aferir que o aumento de 10 vezes a quantidade de carga transportada facilitou o escoamento da soja produzida no estado de Goiás para o Porto de Santos.

Segundo dados da ANTF (2023) um vagão graneleiro modelo HPT (Vagão Hopper – ver classificação de vagões no Brasil) possui capacidade de transportar aproximadamente 100 toneladas de carga, o equivalente a cerca de três caminhões graneleiros (com capacidade aproximada de 33 toneladas de carga). Uma composição ferroviária composta por 120 vagões é capaz de transportar o equivalente a 368 caminhões graneleiros, ocasionando uma redução considerável da emissão de dióxido de carbono.

Segundo dados do Instituto de Logística e *Supply Chain* ILOS (2023), o modal ferroviário emite menos de 85% dióxido de carbono (CO₂) em relação ao transporte rodoviário. De acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa SEEG em 2020 o modo ferroviário de cargas foi responsável por aproximadamente 2,9% das emissões nacionais, oriundas do setor de transporte de carga. Os gráficos da participação das emissões de CO₂ por setor brasileiro (CNT, 2023) indicam que: o setor de transportes tem 22,9% de contribuição para emissão de CO₂ nacionais; o modal rodoviário 20,9%; outros meios de transporte, incluindo o ferroviário 0,9%.

Logística verde refere-se à implementação de práticas ecológicas na logística e cadeia de suprimentos. Com o objetivo de mensurar a sustentabilidade do transporte e da logística verde são estabelecidas algumas métricas, como por exemplo: *Compliance* com boas práticas de sustentabilidade e leis (Kumar, 2022) e Taxa de acidentes (Fulzele; Shankar, 2021).

1.1. PROBLEMA

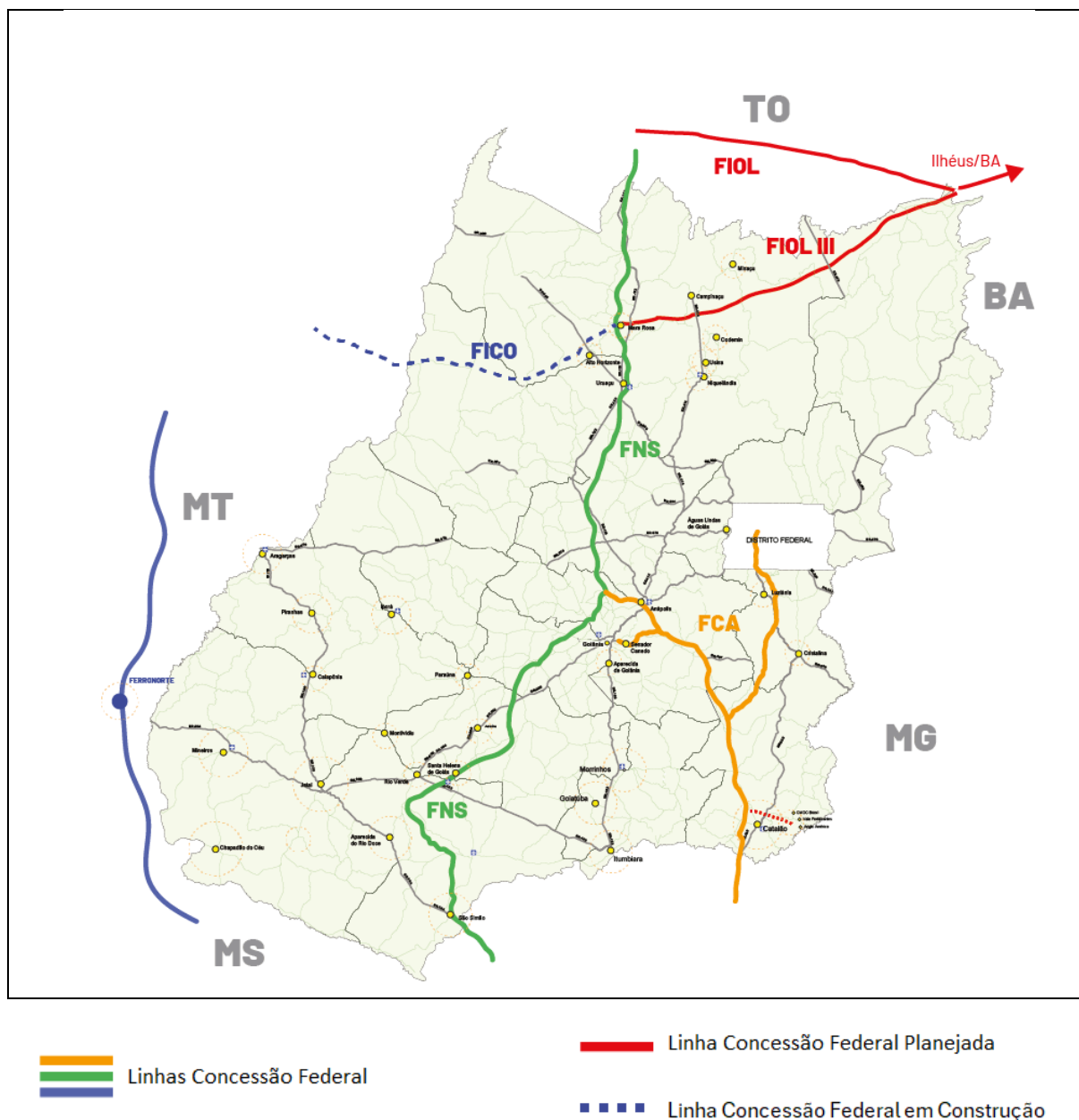
Estudos apontam que a reestruturação da infraestrutura logística, a partir da intermodalidade rodoferroviária, focando tanto na redução de custos como também no ambiental, é indispensável para a competitividade internacional. Pensando nisso, até 2035, o Brasil retomará os investimentos na modernização e expansão das malhas ferroviárias, com a expectativa de contribuições econômicas, ambientais e na eficiência de serviço (Branco *et al.*, 2022; EPL, 2021).

Em Goiás há uma proposta de implantação do Sistema Ferroviário Estadual (SFE) que teve as tratativas iniciadas no Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) em 23/01/2023 e no dia 08/03/2023 a proposta do governador Ronaldo Caiado, que prevê contratos com duração de 25 a 99 anos, foi discutida com empresas do ramo (GOINFRA, 2023a, 2023b). Neste workshop também foi discutida a ampliação e integração multimodal do transporte. A intenção do SEF é desburocratizar a participação da iniciativa privada e trazer investimentos

para Goiás, que é o estado com maior número de obras ferroviárias, como a Ferrovia Norte-Sul (FNS) e a Ferrovia de Integração do Centro-Oeste (FICO).

Ao observar o mapa da INFRA-S.A. (2022) o estado de Goiás é o ponto central de intercessão das ferrovias federais que são estruturantes, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 Mapa da malha ferroviária no estado de Goiás



Fonte: Adaptado de GOINFRA, 2023c

No Workshop de 08/03/23 (GOINFRA, 2023d) o gerente de Relações Governamentais da Rumo Logística, Rodrigo Verardino de Stéfani, enumerou dados expressivos que atrelam a necessidade da multimodalidade de transportes à interiorização e ao crescimento da produção agrícola goiana ao longo dos últimos 50 anos. Entre eles, a queda no consumo de diesel,

calculada em aproximadamente 29%, e a redução do índice de acidentes que envolvem veículos de cargas pesadas nas rodovias, que saiu de 2,6% para 0,25%, dado que pode ser comparado às realidades canadenses e italiana.

Justifica estudar este tema porque a soja tem a segunda maior representatividade de mercadorias transportadas nas ferrovias brasileiras, no que tange a TKU - Tonelada por quilômetro Útil (ANTT, 2023b). Além disso, pesquisas sobre emissão de CO₂ no intermodal rodoferroviário atrai investimentos de grandes empresas. Tendo que, o transporte “verde” polui menos o meio ambiente, propicia a certificação verde para aumentar o marketing, conserva o meio ambiente e facilita linhas de crédito como os *green bonds* (EPL, 2020). Considerando, também, que cerca de dois terços das despesas totais de qualquer empresa são direcionadas somente para a área de transportes, logo, se otimizado, causa um grande impacto em suas logísticas (Ballou, 2009).

Diante do contexto, este projeto visa responder à questão de pesquisa: **Como otimizar o transporte rodoferroviário da soja em Goiás, considerando todos os pontos de transbordo que acessam portos brasileiros através de ferrovias considerando uma data futura para o ano de 2035?**

O estado de Goiás é o foco de estudo e o impacto do modal ferroviário será avaliado em diversos os cenários.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo geral

Apresentar uma solução otimizada do transporte rodoferroviário da soja para fins de exportação, do ponto de vista de logística verde, utilizando otimização biobjetivo com a algoritmo determinístico minimizando as funções custo e emissão de CO₂, avaliados segundo a fronteira de Pareto.

1.2.2. Objetivos específicos

Analisar os dados da cadeia produtiva e logística da soja para obter os dados os volumes de exportação da soja, de distância, frete, emissão de CO₂, capacidade de transbordo e capacidade dos portos;

Verificar o impacto financeiro da não emissão de CO₂ considerando quatro cenários com percentuais diferentes de transporte rodoviário e rodoferroviário. Será analisado em conjunto o impacto da entrada da ferrovia Rumo Malha Central (RMC) em março de 2021;

Otimizar o comportamento do transporte rodoferroviário para 2035 e analisar alguns resultados desta formulação matemática.

1.2.3. Organização da dissertação

No capítulo 2 serão abordados assuntos referentes à revisão de literatura dos aspectos de logística verde e o transporte de soja no Brasil, dados da soja no estado de Goiás e otimização biobjetivo com o algoritmo determinístico e fronteiras de Pareto.

O capítulo 3 (metodologia) está subdividido em tópicos para facilitar os diversos processo como: classificação da pesquisa; a revisão sistemática de literatura com foco em modelos (utilizando uma ferramenta computacional excel); a coleta e preparação dos dados para desenvolvimento da cadeia produtiva e logística da soja e síntese dos dados de entrada para as etapas de análise de quatro cenários com foco no impacto financeiro da não emissão de CO₂ e do impacto do início da operação da RMC; definição e critérios para processar os dados da otimização do comportamento do transporte rodoferroviário para 2035.

O capítulo 4 está subdividido em duas macros etapas: 1 - Análise do impacto financeiro da não emissão de CO₂ e do impacto do início da operação da RMC nos cenários 01 a 04 (referências aos dados de entrada para análise dos cenários, descrição dos cenários e resumo dos resultados dos cenários); 2 - Análise do comportamento do transporte rodoferroviário otimizado para 2035 (resultados da otimização de 2035 das amostras A01 - menor frete, A03 - baixo valor de frete, A08 - ponto intermediário de frete e de emissão de CO₂, A15 - baixo valor de emissão de CO₂ e A45 menor emissão de CO₂ e maior frete; análise comparativa das amostras; comentário dos resultados das amostras).

E, por fim, o capítulo 5 aborda as conclusões finais desta dissertação.

No apêndice A são apresentados os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos nas amostras A01, A03, A08, A15 e A45 (descritas nos itens 4.2.1 a 4.2.5) e no apêndice B constam algumas imagens que detalham a estrutura de operação do transbordo.

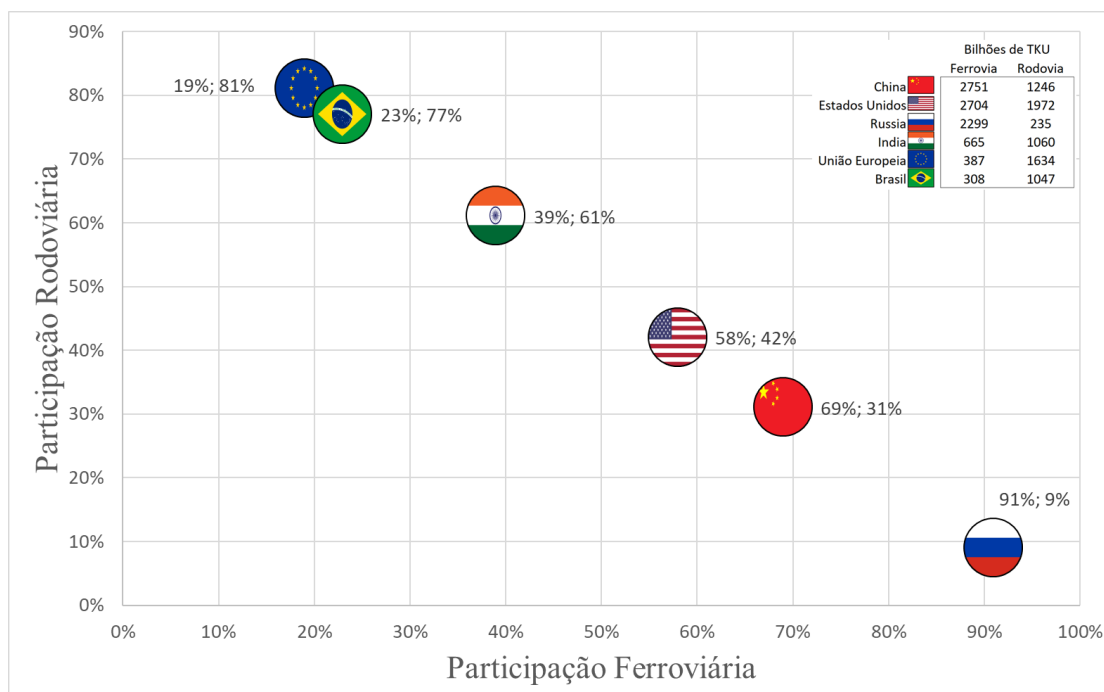
2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. LOGÍSTICA VERDE E O TRANSPORTE DE SOJA NO BRASIL

Atualmente, na matriz de transportes de cargas brasileira, o modal rodoviário representa 64,86% do total; ferroviário 14,95%; cabotagem 10,47%; hidroviário, 5,25%; dutoviário, 4,45% e aéreo apenas 0,03% (CNT, 2023). Devido ao fato de no Brasil a malha rodoviária ser muito mais representativa do que a malha ferroviária, isto proporciona ao modal rodoviário um baixo custo de transporte, uma alta frequência e flexibilidade e, desta forma, a maior parcela de transporte ocorre nas rodovias (Zaluski, 2018).

A logística verde busca implementar práticas ecológicas na indústria de logística e cadeia de suprimentos. Isso pode incluir a redução de emissões de gases de efeito estufa, minimização de resíduos e conservação de recursos naturais. Pinto *et al.* (2018) mostra que na tentativa de reduzir as emissões atmosféricas, uma estratégia comumente sugerida por especialistas é a substituição do transporte rodoviário pelo ferroviário, e uma operação intermodal rodoferroviária reduziria as emissões em até 77,4%, podendo chegar a 43,48% mais eficiente em termos de consumo de combustível e até 80% mais barato do que operar apenas com transporte rodoviário, apresentando-se como uma estratégia viável para permitir que mais empresas e países mitiguem as mudanças climáticas. A Figura 2 apresenta as participações do transporte rodoviário e ferroviário em vários países do mundo, incluindo o Brasil.

Figura 2 Participação das malhas rodoviárias e ferroviárias no mundo



Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2018)

No Brasil, segundo dados da CNT, em fevereiro de 2023 a malha ferroviária representava 1,8% da malha rodoviária (CNT, 2023). Nos últimos anos houve uma retomada dos investimentos do governo e da iniciativa privada para a construção, restauração e duplicação da malha ferroviária. Houve também, com a aprovação da Lei nº 14.273 (23/12/2021) que estabelece a Lei das Ferrovias, investimentos dos governos federais no sistema ferroviário. Essa retomada causa impacto: no mercado, pois diminui os custos de transporte de insumos nas rodovias; na sociedade gerando mais empregos; na comunidade científica contribuindo para variados estudos em diferentes áreas. Essas diferentes áreas podem ser: na engenharia civil possibilita o estudo de projeto e construção das obras ferroviárias; na engenharia mecânica o estudo do maquinário ferroviário e dos equipamentos necessários para a construção da ferrovia; na engenharia de produção o estudo da gestão das operações dos transportes de insumos por meio da ferrovia.

Como dito na introdução, em Goiás há uma proposta de implantação do Sistema Ferroviário Estadual (SFE) que teve as tratativas iniciadas na Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA) em 23/01/2023 e no dia 08/03/2023 a proposta do governador Ronaldo Caiado, que prevê contratos com duração de 25 a 99 anos, foi discutida com empresas do ramo na agência. Neste workshop também foi discutida a ampliação e integração multimodal do transporte (GOINFRA, 2023d). A intenção do SEF é desburocratizar a participação da iniciativa privada e trazer investimentos para Goiás, que é o estado com maior número de obras ferroviárias, como a Ferrovia Norte-Sul (FNS) e a Ferrovia de Integração do Centro-Oeste (FICO).

A soja e seus derivados são os produtos que mais geram volume de exportação no País, sendo o Brasil o maior exportador do mundo. Lembrando que o Brasil tem uma produção de 35% em relação à produção mundial (EMBRAPA, 2022b).

Para aumentar a concorrência de exportação da soja no cenário internacional, é extremamente necessário melhorar a infraestrutura logística em estradas e portos brasileiros, sendo necessário focar na redução dos custos logísticos a partir da intermodalidade. Algumas empresas estão utilizando cada vez mais o transporte ferroviário em detrimento do modal rodoviário, fazendo com que o custo médio de frete/tonelada tenha um valor representativo frente às concorrentes.

Estudos indicam que o transporte contribui com 32% de emissão de poluentes (Aminzadegan *et al.*, 2022) e que à medida que a demanda por transporte aumenta, consequentemente há um acréscimo de impactos ambientais. Segundo dados da CNT (2023) a participação das emissões de CO₂, por setor, no Brasil o setor de transportes impacta 22,9% das

emissões. Ao analisar o setor de transportes detalhadamente infere-se que o setor rodoviário contribui com 91,3% de emissão de CO₂.

Tendo conhecimento de que um dos principais meios de transporte que impulsiona a descarbonização do setor de cargas é o transporte ferroviário, e que o nível de serviço prestado pela ferrovia não é competitivo com o transporte rodoviário Tapia, R. J.; De Jong G.; Larranaga, A. M.; Cybis, H. B. B. (2020) analisam dois cenários: o primeiro da restauração da linha férrea que comunica o norte do país com o porto de San Lorenzo; o segundo da restauração das linhas ferroviárias de 757 km ao redor do porto de QQN e na criação de mais 430 km utilizando banco de dados SP e RP no âmbito MDCEV (*Multiple Discrete Extreme Value Model* - Modelo de Valor Extremo Discreto Múltiplo) com o objetivo propiciar a análise do impacto da infraestrutura ferroviária nos embarques ferroviários.

Jiang *et al.* (2021) tratam das implicações das emissões de CO₂ de projetos ferroviários de alta velocidade (*High-Speed Rail* - HSR) devido às suas interações com o ar, rodovias e ferrovias de velocidade normal. Apesar de o principal foco ser o estudo sobre o trem de alta velocidade o estudo aborda muitas questões referente a emissão de CO₂, análise do ciclo de vida de um projeto, vida útil da infraestrutura (aeroportos, rodovias e ferrovias) e implicações de emissões (componentes do veículo, da infraestrutura e do combustível). Ainda neste estudo é destacado que a análise do componente combustível foi recentemente acrescentada e é utilizada em políticas futuras e orientações de desenvolvimento. (Demir; Bektas; Laporte, 2011).

Em suas pesquisas Aminzadegan *et al.* (2022) elucidam em suas pesquisas uma investigação aprofundada da literatura sobre o aumento das emissões de poluentes no meio ambiente decorrentes do uso crescente de vários meios de transporte, tendo como foco principal a União Europeia. Esses objetivos incluem o impacto dos gases de efeito estufa emitidos pelo setor de transporte no meio ambiente, o impacto dos poluentes na escolha do modo de transporte, o estudo dos obstáculos para a redução da poluição no transporte e a apresentação de soluções e sugestões. Na pesquisa, foram coletados trabalhos relacionados ao tema em diversos setores de transporte, incluindo transporte rodoviário, ferroviário, marítimo, aéreo e multimodal. (Li; Zhang, 2020).

Em Péra *et al.* (2019) é feito uma avaliação do potencial de estratégias para promover corredores verdes de exportação de soja do Brasil para a China. Neste estudo o problema foi modelado como um problema de programação linear e foi resolvido pelo GAMS (*General Algebraic Modelling System*). Trata-se do transporte da soja das fazendas produtoras do Centro-

Oeste brasileiro até os principais portos de exportação brasileiros e, posteriormente, para a China, por meio das diversas infraestruturas logísticas disponíveis.

A dificuldade em atrair as demandas de frete para o modal ferroviário das cargas que agora estão sendo transportadas por estrada foi abordada em Li; Zhang (2020). Atualmente, o desenvolvimento de cargas ferroviárias da China possibilita grandes oportunidades. No final de 2018, a quilometragem total de alta velocidade da China atingiu 30.000 km, mais de dois terços da quilometragem total de alta velocidade do mundo. Torna possível a separação de passageiros e fretes, o que, por sua vez, libera a capacidade dos serviços de frete. A China liberou parcialmente os preços dos fretes ferroviários a partir de 2013.

O artigo apresenta um novo quadro para a redução das emissões de CO₂ das atividades de frete, contabilizando tanto os serviços operacionais quanto as rotas de trem, a frequência de serviço de cada movimento de trem, a capacidade de resposta da demanda ao preço e incentivos externos (política de subsídios de baixo carbono).

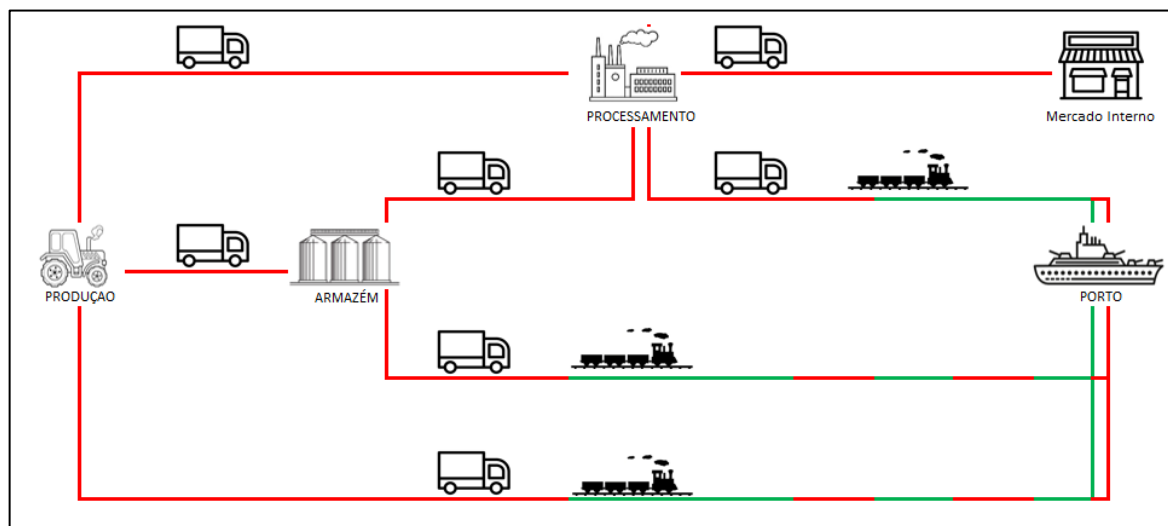
Ainda neste artigo é abordado que o setor agrícola argentino é um setor dinâmico, onde as exportações de grãos e derivados representam 44% do total das exportações. A alta participação do transporte rodoviário na divisão modal tem um grande impacto na competitividade do setor agrícola devido aos preços mais altos do transporte em relação a outros países.

Com o objetivo de modelar a escolha do modo viagem e caracterizar o transporte de cargas no Brasil, incluindo importantes covariáveis para o contexto brasileiro, Souza *et al.* (2022) fazem entrevista com 26 empresas que utilizam o transporte de cargas no estado do Rio de Janeiro, por meio de pesquisas SP (pedem aos entrevistados que façam escolhas em uma série de cenários hipotéticos) e RP (registros de escolhas reais).

No artigo de Isler; Asaff; Marinov (2021) é apresentado estudo de uma nova malha ferroviária geoestratégica para serviços de carga que é projetada com o objetivo de atender às necessidades das demandas atuais e futuras de transporte de mercadorias no estado de Santa Catarina, Sul do Brasil. Ainda neste artigo é mencionado que Branco *et al.* (2022) classificaram, no Brasil, os investimentos em novas ferrovias de acordo com a expectativa de contribuições econômicas e ambientais, simulando os fluxos de produção de soja e milho e obtendo redução nos custos de transporte e na emissão de CO₂.

A produção de soja no território brasileiro é vasto e segue a seguinte logística de transporte apresentada na Figura 3.

Figura 3 Logística de transporte de soja



Fonte: Elaborado pela autora no software excel

A representação da forma de transporte nos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário é detalhado na Figura 4 apresentada a seguir.

Figura 4 Comparativo entre os modais – tonelagem, distância e tipos de mercadorias

VEÍCULOS			
TONELAGEM	Média	Alta	Alta
DISTÂNCIA	Pequena	Média/Grande	Média/Grande
MERCADORIA	Médio valor agregado	Baixo/Médio valor agregado	Baixo/Médio valor agregado

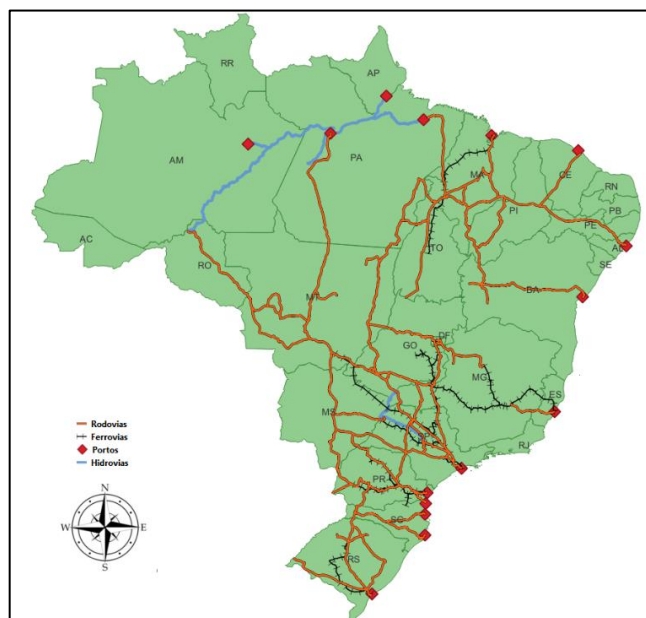
Fonte: Adaptado de CNT (2015)

Os modais podem tanto serem interligados quanto separados, por exemplo, o produtor envia o produto pela rodovia e chega em um ponto de transbordo onde é enviada pela ferrovia até o seu destino. Silva *et al.* (2020) em uma rápida leitura este artigo aborda apenas as questões relativas à rodovia (Políticas públicas para o transporte rodoviário de cargas no Brasil: impactos sobre a demanda energética e a emissão de poluentes atmosféricos).

O caminho da safra dos grãos de soja e milho, nos anos de 2015/16, possui as principais rotas e portos de exportação/transbordo, conforme descritos na Figura 5 apresentada abaixo. A

partir dos dados obtidos pela EMBRAPA (2022a), foi possível verificar que realmente o transporte de soja é intermodal, como proposto por Silva *et al.* (2020).

Figura 5 Mapa do fluxo do transporte dos grãos de soja e milho - 2015



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2022a)

2.2. DADOS DA SOJA NO ESTADO DE GOIÁS

Existem várias fontes de dados que podem fornecer informações relevantes sobre a produção, custos, emissões de CO₂ do transporte da soja, como por exemplo as mencionadas a seguir:

O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é a principal fonte de informações estatísticas no Brasil e pode fornecer dados sobre produção agrícola, transporte e logística, entre outros temas relevantes.

O MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) é responsável por regulamentar e fiscalizar o setor agrícola no Brasil, incluindo a produção e escoamento de soja. O site deste ministério pode fornecer informações sobre produção, comércio exterior e transporte de soja, entre outros temas relevantes. Este ministério, fornece dados sobre produção, oferta e demanda de soja, bem como dados sobre transporte e logística.

A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) é uma empresa pública responsável por pesquisar e desenvolver tecnologias para o setor agropecuário no Brasil. O site

desta empresa pode fornecer informações sobre produção de soja, logística e transporte, entre outros temas relevantes.

A CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) é responsável por planejar e coordenar a política de abastecimento do governo federal, incluindo a compra e distribuição de alimentos e insumos agrícolas. O site desta companhia pode fornecer informações sobre produção, comércio e transporte de soja, entre outros temas relevantes.

Órgãos governamentais e transportadoras que podem fornecer dados sobre o transporte da soja.

A CNT (Confederação Nacional do Transporte) fornece dados sobre infraestrutura de transporte, incluindo rodovias, portos e ferrovias, bem como regulamentações relacionadas ao transporte.

A Associação Brasileira dos Produtores de Soja (Aprosoja) disponibiliza dados sobre produção, transporte e logística da soja, além de outras informações relevantes para o setor agricultor.

A Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) que realiza um levantamento mensal dos volumes operados de soja junto às empresas atuantes nas atividades de processamento da oleaginosa. Os dados obtidos permitem a construção da estatística mensal, cujas informações apresentadas são: Balanço Anual de Oferta e Demanda do Complexo Soja, Balanço Mensal de Oferta e Demanda do Complexo Soja, Volumes processados de soja, Compras líquidas de soja em grão, Consumo doméstico de farelo e óleo, Exportações do Complexo Soja e da Indústria Processadora, Preços, Balanço de Divisas do Complexo Soja e Estoques mensais.

A Associação Brasileira dos Operadores Logísticos (ABOL) fornece dados sobre logística, gestão de estoques e otimização de transportes.

Algumas das principais empresas de transporte no Brasil incluem, a Rumo (operadora logística ferroviária), a VLi (operadora logística multimodal) e a Ultralog Transporte e Logística LTDA no modal rodoviário. Eles fornecem dados sobre o volume e valor da soja transportada, bem como dados sobre infraestrutura e capacidade de transporte.

Observação: Empresas de transporte são entidades privadas e seus dados podem não estar disponíveis publicamente e, se estiverem, podem ser na forma de relatórios ou apresentações anuais.

2.3. OTIMIZAÇÃO BIOBJETIVO COM O ALGORITMO DETERMINÍSTICO E FRONTEIRAS DE PARETO

No que tange a matemática aplicada e a computação, a otimização atua como um processo fundamental, podendo estar ligada ao auxílio de tomada de decisão de empresas e em soluções de problemas em diversas áreas, incluindo a logística verde de transporte para a redução de custos e de poluentes (Sbihi; Eglese, 2009). É comum entender a otimização como uma ferramenta que busca a melhor solução ou valor ótimo, por meio da maximização ou minimização de uma função objetiva, seguindo um grupo de restrições (Nocedal; Wright, 1960).

Tendo isso em vista, é importante ressaltar também a existência da Otimização Multiobjetivo (MOO), que é uma técnica utilizada para encontrar soluções que satisfaçam duas ou mais funções escalares ao mesmo tempo e de forma equilibrada, respeitando determinadas restrições (Gunantara, 2018). Naturalmente, essa técnica é utilizada em situações em que as funções objetivo são conflituosas e não há uma solução única, mas sim várias soluções possíveis que precisam ser avaliadas. Por isso, é necessário identificar um grupo de soluções que, no quesito matemático, sejam boas de modo igual. Para isso, a MOO utiliza o conceito de ótimos de Pareto (não dominadas, eficientes, não inferiores), que são soluções não dominadas por outras soluções viáveis. Portanto, o objetivo da MOO é encontrar um conjunto de soluções que representem a melhor combinação de todas as funções objetivos, impossibilitando a melhoria em relação a todas as outras soluções em todos os objetivos simultaneamente (De Weck, 2004).

Para trabalhar efetivamente com MOO, é imprescindível ter uma compreensão profunda das Fronteiras de Pareto (POF), que se baseiam no conceito de dominância. De acordo com Ferreira (2018), uma solução s_1 , com um vetor de funções objetivo $u = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_p\}$, é considerada superior a outra solução s_2 , com um vetor de funções objetivo $v = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, se u domina v ($u < v$). Isso implica que, em nenhuma função objetivo de v , o valor é menor do que sua contraparte em u e, pelo menos em um objetivo, o valor da função objetivo de u é menor a de v .

A partir da definição apresentada anteriormente, é possível entender que um ótimo de Pareto é uma solução que não foi dominada por nenhuma outra solução viável no espaço de busca. Assim, pode-se construir o conjunto Pareto-ótimo (todas as soluções não-dominadas) e a POF (determinada pela imagem do conjunto Pareto-ótimo). A POF apresenta todas as soluções ideais para o problema que configuram combinações ideais entre diferentes objetivos. É importante destacar que a POF não fornece apenas uma única solução ótima, mas sim um

conjunto de soluções ótimas. Isso significa que, dependendo das preferências do tomador de decisão, ele pode escolher a solução que melhor atenda aos seus critérios de avaliação (Marler; Arora, 2004).

No contexto da logística de transporte verde, a Otimização Multiobjetivo (MOO) é uma abordagem que considera diversas métricas que representam os objetivos a serem alcançados, incluindo os custos de transporte, emissões de gases de efeito estufa e impacto ambiental. Através de um *trade-off*, é encontrado equilíbrio entre objetivos conflitantes de modo que seja possível encontrar soluções mais eficientes e sustentáveis para os desafios dessa área (Gunantara, 2018; Sun; Yu; Huang, 2021).

Em Jayarathna *et al.* (2021), a revisão sistemática analisou estudos que aplicaram MOO em problemas de logística de transporte verde. Ainda em Jayarathna *et al.* (2021), foi destacado que a MOO tem sido amplamente utilizada em problemas de logística, mas ainda existem desafios na aplicação da técnica, como a escolha de métodos de resolução e a consideração de incertezas e limitações técnicas.

Em resumo, a Otimização Multiobjetivo (MOO) tem se mostrado uma abordagem promissora para a logística de transporte verde, possibilitando encontrar soluções mais eficientes e sustentáveis para os desafios dessa área. Embora a aplicação da técnica ainda apresente desafios a serem superados, como a escolha de métodos de resolução e a consideração de incertezas e limitações técnicas, a consideração de múltiplos objetivos pode ajudar a superar esses obstáculos e a alcançar melhorias significativas na sustentabilidade e eficiência do transporte (Ferreira; Steiner; Junior, 2020). Com isso, espera-se que o uso da MOO se torne cada vez mais comum e aprimorado, contribuindo para uma logística de transporte mais verde e sustentável no futuro.

A aplicação de algoritmos de otimização tem se mostrado promissora na solução de problemas de transporte verde multiobjetivo.

3. METODOLOGIA

3.1. ELABORAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO

Para que o leitor tenha conhecimento de como ocorreu a elaboração e estruturação do estudo, o método de pesquisa se apresenta como um conjunto de atividades sistemáticas, indicando um caminho para quem deseja entender a abordagem da pesquisa. Sendo assim, estes procedimentos proporcionam a construção do conhecimento das técnicas e ferramentas utilizadas por Fleury *et al.* (2018) ressaltam que a metodologia é essencial para o estudo e deve ser exposta de modo claro e detalhado, com objetivo de proporcionar o conhecimento, para que o leitor seja capaz de reproduzir, se necessário, a temática do estudo.

Uma pesquisa pode ser classificada segundo sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos (Fleury *et al.*, 2018). Conforme Quadro 1 apresentado a seguir.

Quadro 1 Classificação da pesquisa

Natureza	Aplicada, pois a aplicação prática do modelo pode gerar a solução de problemas do objeto de estudo, auxiliando na tomada de decisão dos problemas relacionados ao transporte da soja, destinada à exportação.
Abordagem	Pesquisa Combinada, devido a utilização em algumas etapas de aspectos quantitativos, como o uso de técnicas matemáticas para análise de números, junto com aspectos qualitativos, como a relação dinâmica entre o mundo real e o objeto de pesquisa, caracterizando a interpretação dos fenômenos.
Objetivos	Normativa, pois busca soluções por meio de estratégias elaboradas para o sistema proposto, comparando e analisando alternativas para o problema.
Procedimento Técnico	Estudo de caso, pois estabelece um estudo profundo do sistema logístico, permitindo o conhecimento detalhado da problemática e de suas alternativas.

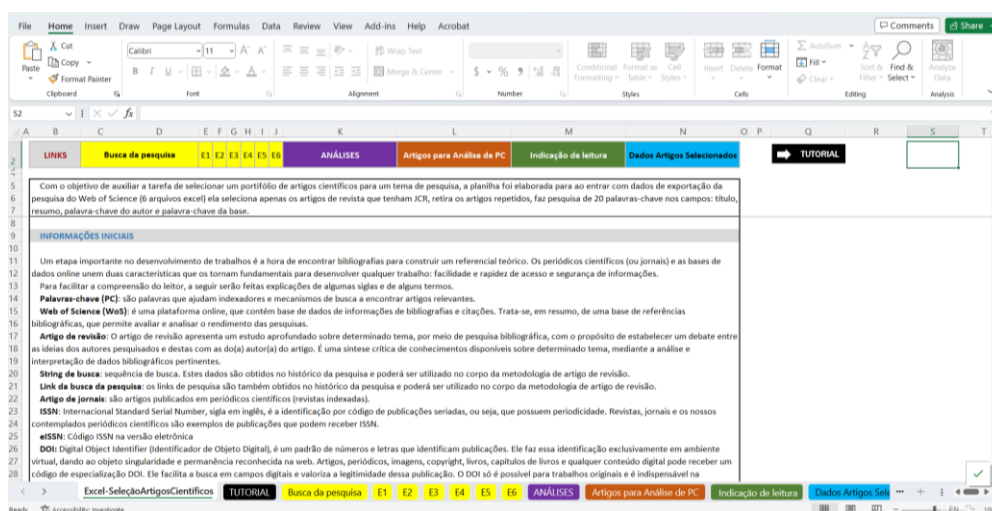
Fonte: Adaptado de Fleury *et al.* (2018)

3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA COM FOCO EM MODELOS

Para esta fase foi desenvolvida uma ferramenta computacional (exposta a apresentação na Figura 6) para seleção de um portfólio de artigos relevantes obtidos da base científica Web of Science. A ferramenta foi apresentada no SIMPEP 2023, teve registro de software sob o número BR512022002556-6 e ainda gerou o capítulo 74 no livro *Open Science Research X*, da Editora Científica Digital, 2023 (DOI 10.37885/230111849). O arquivo utilizado nesta pesquisa está anexado no link apresentado a seguir.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1xgO-dB34w5Bq-0dvdb2aa4kkRNAIWAOS/edit?usp=drive_link&ouid=106591528453235630377&rtfpof=true&sd=true

Figura 6 Ferramenta computacional - Seleção de Artigos Científicos do WoS



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

A planilha foi elaborada com o objetivo de auxiliar a tarefa de selecionar um portfólio de artigos científicos para um tema de pesquisa que funciona da seguinte maneira: ao entrar com dados de exportação da pesquisa do *Web of Science* (6 arquivos excel) ela seleciona apenas os artigos de revista que tenham JCR, retira os artigos repetidos, faz pesquisa de 20 palavras-chave nos campos: título, resumo, palavra-chave do autor e palavra-chave da base.

Contudo, devido a especificidade de conteúdo do tema deste trabalho ocorreram pesquisas documentais, em meio a relatórios governamentais, associações, institutos de pesquisa, dissertações e teses, entre outros artigos de congressos nacionais, reportagens oficiais em revistas e meios eletrônicos. Além das pesquisas direcionadas a logística da soja, foram feitas pesquisas para a elaboração de embasamento científico em relação à pesquisa operacional e modelagem, através de livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações.

Para o desenvolvimento da ferramenta computacional foram avaliados dois métodos de revisão sistemática de literatura (RSL): O *Knowledge Development Process-Constructivist (Proknow-C)* e o *Methodi Ordinatio* (De Carvalho *et al.*, 2020). Pelo fato do método *ordinatio* apresentar um índice, *inOrdinatio*, favorecendo a automatização ele foi selecionado para a construção da ferramenta, com algumas adaptações na proposta de uso, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 Apresentação das fases do método *ordinatio*

Seq.	<i>Methodo Ordinatio</i>	Ferramenta computacional
Investigação preliminar	1) Estabelecer a intenção da pesquisa	(1) Considera esta fase que é de responsabilidade do pesquisador, e demonstra com um exemplo
	2) Pesquisa exploratória preliminar com palavras-chave em bancos de dados	(1)
	3) Definição e combinação de palavras-chave e bancos de dados	(1) e Sugestão: o software <i>Vosviueur</i> (Orduña-Malea; R., 2021), pode auxiliar na escolha das palavras-chave e entendimento macro da área de pesquisa
	4) Pesquisa final nos bancos de dados	(1) e seleção de até 6 strings de busca
Saída	Resultado Intermediário - Repositório Bruto	(1) e exportação de até 6 arquivos de dados (.xls)
Filtragem de portfólio	5) Procedimentos de filtragem (por exemplo, título, resumo e palavras-chave)	(2) Automático com o uso de comandos lógicos de seleção no excel
	6) Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações	(2)
	7) Classificação dos papéis utilizando o InOrdinatio	Classificação dos documentos usando um indicador de palavras-chave criado pelos autores combinado com o índice <i>InOrdinatio</i>
	8) Encontrar os papéis completos	Etapa semiautomática com os documentos separados contendo o DOI, facilitando a obtenção dos documentos.
	9) Leitura final e análise sistemática dos artigos	Os artigos não foram lidos na demonstração apresentada no texto
	Análise bibliométrica descritiva	Com base nos artigos selecionados fez-se uma nova busca na <i>WoS</i> por título desta vez para reunir os artigos citados que podem voltar para a ferramenta para nova análise. Sugestão: O <i>software R</i> e <i>Rstudio</i> , com o pacote <i>Bibliometrix</i> e aplicativo <i>Biblioshiny</i> (Taqi <i>et al.</i>) pode auxiliar na qualificação das citações.

Fonte: *Methodo Ordinatio* adaptado de De Carvalho; Sokulski; Da Silva (2020) e introdução da coluna Ferramenta computacional proposta pela autora

Para responder à questão de pesquisa: “Quais as propostas de otimização de redes de transporte de carga verdes e seus desafios de modelagem” foram propostas pelos pesquisadores autores as *Strings* de busca no WoS que estão apresentados no Quadro 3. Estes dados podem ser obtidos após a pesquisa, em histórico.

Quadro 3 *Strings* de busca e *links* de pesquisa na *WoS* sobre otimização de transporte de carga verde

Numeração da pesquisa	INSERIR <i>String</i> de busca da pesquisa
E1	<i>cargo transport, optimization, sustainability (All Fields) or cargo transport, optimization, machine learning (All Fields) or optimization, transport, simple, linear, programming (All Fields) or optimization, transport, metaheuristic, multi-objective (All Fields) or optimization, rail, vehicle, routing, problem (All Fields) or KBGA (All Fields)</i>
E2	<i>optimization, railway, green (Todos os campos) or optimization, transport, freight, green (Todos os campos) or optimization, emission, transport, grains (Todos os campos) or optimization, grains, transport (Todos os campos)</i>
E3	<i>(optimization or optimisation) and (cargo transport or freight transport) (Todos os campos) AND railway and (green or greenhouse gases or emission) (Todos os campos)</i>
E4	<i>(transporte multimodal de carga e (otimização ou otimização)) e descarbonização (Todos os campos) OR ((transporte multimodal de carga) e (otimização ou otimização)) e (emissão de efeito estufa) (Todos os campos)</i>
E5	<i>((("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and metaheuristic (All Fields) (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and logistic (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and green vehicle (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and Pollution routing (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and bi-objective (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and hyperheuristic (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and metaheuristic (All Fields) and 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Article or Review Articles (Document Types) and Article or Review Articles (Document Types)</i>
E6	<i>((("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and sustainable (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and simulation (All Fields) or (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and intermodal (All Fields) and (("freight transport" or "cargo transport") and "optimization") and "VRP" (All Fields) and 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Article or Review Article (Document Types)</i>

Fonte: Autora

As palavras-chave selecionadas para um dos critérios de seleção na ferramenta foram definidas pela autora com vistas atender às *strings* de busca usadas na WoS. Assim, foram consideradas as 19 palavras-chave: *cargo transport, freight transport, green, logistic, railway,*

emission, multimodal, pollution, model, road, hub-and-spoke, fuel, optim, Brazil, multi-objective, sustainability, machine learning, heuristic e vehicle routing problem.

Das *strings* de busca e *links* de pesquisa na WoS sobre otimização de transporte de carga verde apresentados no Quadro 3 foram localizados 1.506 artigos. A planilha anexada no link apresentado a seguir selecionou apenas artigos de revista, com informações sobre o *link* DOI, com ano, com ISSN ou eISSN, com JCR e sem repetir. Desta forma, apenas 1.056 artigos foram validados a serem tomados como entrada para a seleção de portfólio.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1xgO-dB34w5Bq-0dvdb2aa4kkRNAIWAOS/edit?usp=drive_link&ouid=106591528453235630377&rtfpof=true&sd=true

O Quadro 4 apresenta a quantidade de palavras-chave de cada uma das 6 exportações apresentadas no Quadro 3 *Strings* de busca e links de pesquisa na WoS sobre otimização de transporte de carga verde.

Quadro 4 Quantitativos de palavras-chave de cada uma das 6 exportações

Exportações	cargo transport	freight transport	green	logistic	railway	emission	multimodal	pollution	model		road	hub-and-spoke	fuel	optim	Brazil	multi-objective	sustainability	machine learning	heuristic	vehicle routing problem
E1	2	10	19	43	21	36	4	7	167		35		22	197		37	18	6	69	23
E2		32	89	39	29	71	8	9	296		65	1	61	704	4	18	25	5	11	4
E3	2	5	5	1	12	13	3	4	13		5		3	15		2	1			
E4		25	28	20	6	32	1	2	41		16	19	18	54			5		8	1
E5	2	40	2	40	3	22	7	7	37		14		7	41		4	8	3	7	2
E6	7	23			10	4	2		20		6		2	28		2			4	
Resumo	13	135	143	143	81	178	25	29	574		141	20	113	1039	4	63	57	14	99	30

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Para o teste definiu-se para cada exportação o mínimo de palavras-chave e a ferramenta retornou uma indicação de 34 artigos. A seguir é apresentado na Tabela 1 a relação de palavras-chave e a quantidade de artigos com a palavra-chave.

Tabela 1 Palavras-chave x Quantidade de artigos

Palavras-chave	Nº de artigos	Palavras-chave	Nº de artigos
<i>cargo transport</i>	1	<i>road</i>	20
<i>freight transport</i>	21	<i>hub-and-spoke</i>	3
<i>green</i>	24	<i>fuel</i>	12
<i>logistic</i>	28	<i>optim</i>	34
<i>railway</i>	4	<i>Brazil</i>	0
<i>emission</i>	32	<i>multi-objective</i>	11
<i>multimodal</i>	4	<i>sustainability</i>	17
<i>pollution</i>	6	<i>machine learning</i>	1
<i>model</i>	30	<i>heuristic</i>	13
		<i>vehicle routing problem</i>	4

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Deste quadro destaca-se que 8 palavras-chave que aparecem pelo menos 17 vezes: *freight transport* (21), *green* (21), *logistics* (24), *emission* (32), *model* (30), *road* (20), *optim* (34), *sustainability* (17). Entre os artigos indicados automaticamente foram selecionados 12 em consenso para a leitura completa, conforme Quadro 5.

Quadro 5 Extrato dos 12 artigos selecionados para leitura.

Ordem	TÍTULO / AUTOR	Valor do JCR	$\alpha = \frac{10 \text{ p/ + recente e } 1 + \text{antigos}}$	Idade da publicação	InOrdinatio
1	<i>A complexity task of optimization in logistic distribution: A new approach to the green multi-objective vehicle routing problem / Cesar Ferreira, Julio; Arns Steiner, Maria Teresinha</i>	0,378	10	1	90,378
2	<i>Joint optimization of green vehicle scheduling and routing problem with time-varying speeds / Zhang, Dezhi; Wang, Xin; Li, Shuangyan; Ni, Nan; Zhang, Zhuo</i>	3,752	10	5	82,752
3	<i>A way to optimally solve a green time-dependent vehicle routing problem with time Windows / Kazemian, Iman; Rabbani, Masoud; Farrokhi-Asl, Hamed</i>	2,998	10	5	55,998
4	<i>A Bi-Level Model for Green Freight Transportation Pricing Strategy Considering Enterprise Profit and Carbon Emissions / Wang, Danzhu; Zhou, Lingyun; Zhang, Huimin; Liang, Xiaokang</i>	3,889	10	2	84,889
5	<i>Decarbonizing road freight transportation - A bibliometric and network analysis / Meyer, Tobias</i>	7,041	10	3	97,041
6	<i>Eco-friendly 3D-Routing: A GIS based 3D-Routing-Model to estimate and reduce CO₂-emissions of distribution transports / Schroder, Marc; Cabral, Pedro</i>	6,454	10	4	83,454
7	<i>Green route planning to reduce the environmental impact of distribution / Gajanand, M. S.; Narendran, T. T.</i>	5,992	1	10	29,992
8	<i>Green dynamic multimodal logistics network design problem considering financing decisions: a case study of cement logistics / Farazmand, Minoo; Pishvae, Mir Saman; Ghannadpour, Seyyed Farid; Ghousi, Rouzbeh</i>	5,190	10	1	95,19
9	<i>Decision support systems for sustainable logistics: a review and bibliometric analysis / Qaiser, Fahham Hasan; Ahmed, Karim; Sykora, Martin; Choudhary, Alok; Simpson, Mike</i>	4,803	1	6	42,803
10	<i>Multi-objective heterogeneous vehicle routing and scheduling problem with energy minimizing / Ghannadpour, Seyed Farid; Zarrabi, Abdolhadi</i>	10,267	10	4	107,267
11	<i>A Bi-Objective Fuzzy Credibilistic Chance-Constrained Programming Approach for the Hazardous Materials Road-Rail Multimodal Routing Problem under Uncertainty and Sustainability / Sun, Yan; Li, Xinya; Liang, Xia; Zhang, Cevin</i>	3,889	10	4	82,889
12	<i>Carbon pricing initiatives-based bi-level pollution routing problem / Qiu, Rui; Xu, Jiuping; Ke, Ruimin; Zeng, Ziqiang; Wang, Yinhai</i>	6,363	10	3	86,363

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.3. COLETA E PREPARAÇÃO DOS DADOS

A metodologia foi elaborada considerando o desenvolvimento sequencial de cada um dos objetivos específicos propostos, conforme descrito nos subitens a seguir.

3.3.1. Passo 1 - Estruturação da cadeia produtiva e logística da soja e síntese dos dados de entrada para as próximas etapas

Com o objetivo de obter a matriz origem/destino do transporte rodoviário da soja produzida em Goiás para exportação, e obter os dados de entrada para o desenvolvimento das demais etapas, primeiramente foi estudada a cadeia produtiva e logística da soja.

3.3.2. Passo 2 - Estabelecer cenários para analisar o impacto financeiro da não emissão de CO₂ e do impacto do início da operação da RMC

Para verificar o impacto financeiro da não emissão de CO₂ e do impacto do início da operação da RMC foram estabelecidos quatro cenários considerando diferentes proporções de transporte rodoviário e ferroviário do volume estimado da produção destinada para a exportação, conforme descrito a seguir:

- Cenário 01 - Transporte 100% rodoviário de 2022:
Considerado que toda a carga foi transportada de Goiás ao porto por caminhões.
- Cenário 02 - Transporte 97% Rodoviário e 3% Rodoferroviário:
Considerado os dados da planilha 2017 do arquivo “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023” (ANTT, 2023b), para o transporte ferroviário;
- Cenário 03 - Transporte 73% Rodoviário e 27% Rodoferroviário:
Considerado os dados da planilha 2022 do arquivo “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023” (ANTT, 2023b), para o transporte ferroviário;
- Cenário 03 - Transporte 100% rodoferroviário:
Considerado que toda a carga foi transportada de Goiás ao transbordo ferroviário por caminhões e do transbordo ao porto por composições ferroviárias com vagões do tipo *hopper*;

3.3.3. Passo 3 - Estabelecer critérios para analisar os resultados do processamento da otimização do comportamento do transporte rodoferroviário para 2035

Otimizar o comportamento do transporte rodoferroviário para 2035, considerando os quatro transbordos de Goiás que estão em funcionamento no ano de 2023 (Anápolis, Ipameri, São Simão e Rio Verde) e o hipotético início de operação dos transbordos ferroviário de Porto Nacional, TO e Figueirópolis, TO e analisar alguns resultados desta formulação matemática.

Pretende-se analisar alguns resultados, tais como: menor frete e maior emissão de CO₂; baixo valor de frete; ponto intermediário de frete e de emissão de CO₂; baixo valor de emissão de CO₂, e; menor emissão de CO₂ e maior frete.

3.4. CADEIA PRODUTIVA E LOGÍSTICA DA SOJA E SÍNTESE DOS DADOS DE ENTRADA PARA AS PRÓXIMAS ETAPAS

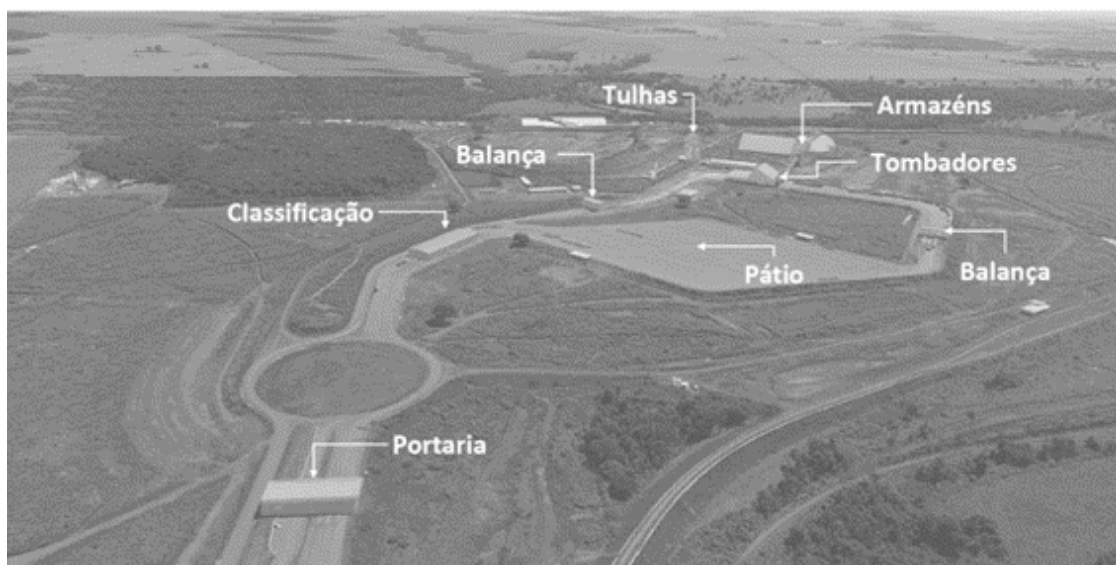
Após a produção, a soja terá praticamente 3 destinos: armazenamento, usina e exportação. A destinação do armazenamento é para o comércio interno e para exportação. Nas usinas processadoras os produtos serão óleo e farelo de soja (envase e processamento), sendo que a destinação destes será para o comércio interno e para exportação.

Na época da colheita a prioridade será exportar a soja utilizando todos os modos de transporte possível, rodoviário, ferroviário e até mesmo hidroviário. Este processo é utilizado para evitar os custos da parcela do armazenamento.

Ao utilizar o modo de transporte ferroviário a soja em grãos é recebida no pátio, inspecionada e depois liberada para o descarregamento dos caminhões. Após o descarregamento a soja vai para os silos de armazenamento que irão então abastecer as tulhas que serão responsáveis pelo carregamento dos vagões graneleiros.

A Figura 8 TRV com as divisões de etapas: Portaria, Classificação, Balança, Tulhas, Armazéns, Tombadores, Pátio e Balança de saída demonstra, esquematicamente o arranjo do terminal ferroviário de Rio Verde (TRV).

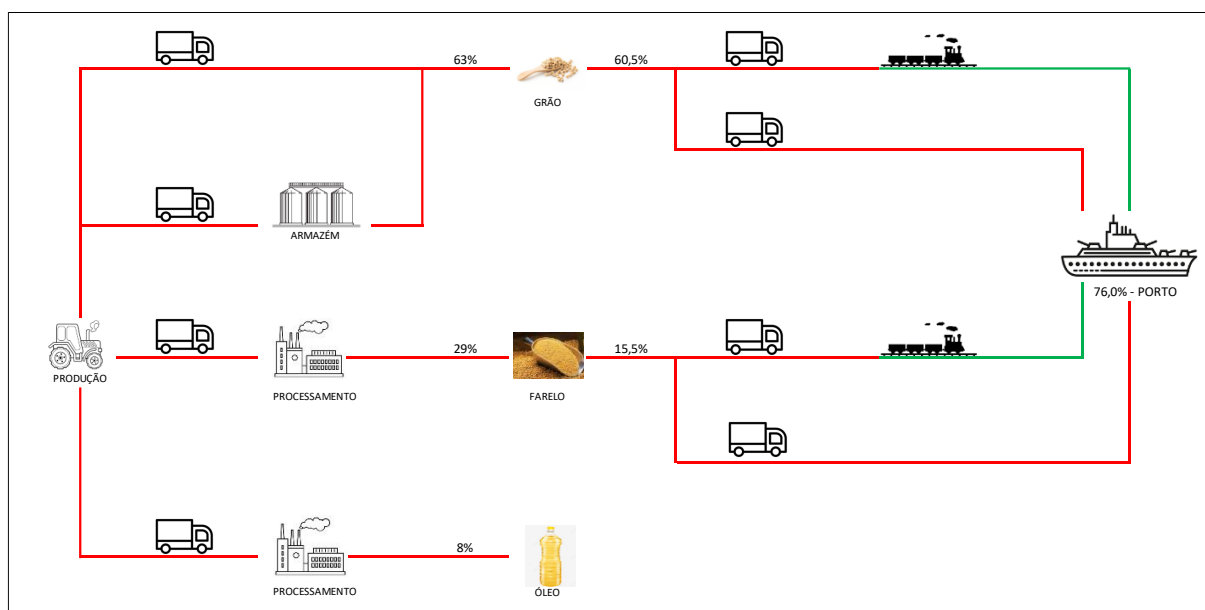
Figura 8 TRV com as divisões de etapas: Portaria, Classificação, Balança, Tulhas, Armazéns, Tombadores, Pátio e Balança de saída



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

A Figura 9 representa a cadeia produtiva e logística da soja brasileira. Esta cadeia foi elaborada tendo como referência a planilha “est_2022_12_br” que está disponível no site da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2022).

Figura 9 Estrutura da cadeia produtiva e logística da soja para exportação



Fonte: Elaborado pela autora com dados de Abiove (2022)

Da Figura 9 é possível aferir que 76% do volume de soja produzida é destinado à exportação em forma de grãos e de farelo de soja.

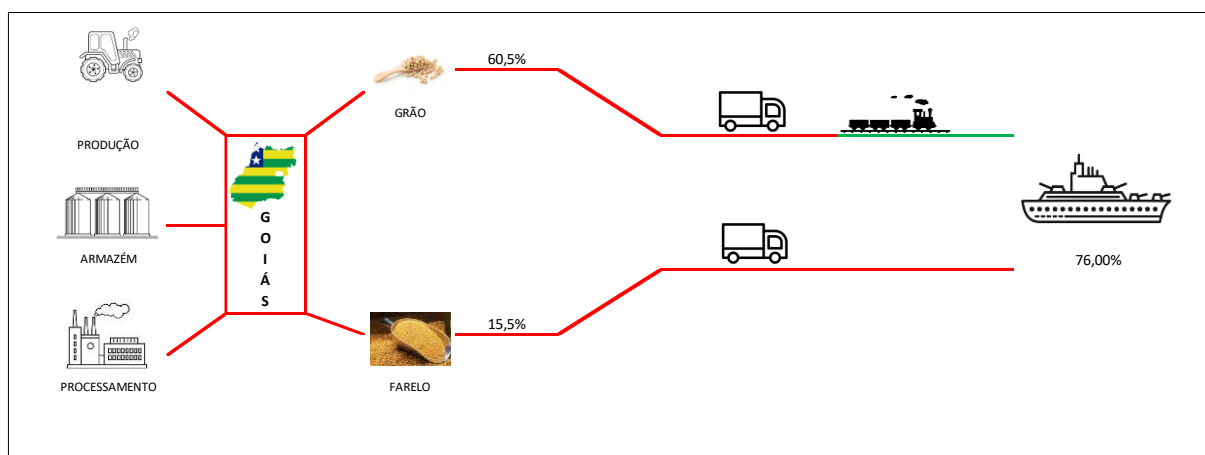
Neste estudo será abordado o transporte de soja e do farelo de soja que juntos representam 92% dos produtos da colheita da soja. Além do mais foi constatado que na malha ferroviária brasileira (ANTT, 2023b) há transporte apenas da soja em grãos e o farelo de soja, ou seja, o óleo de soja não utiliza o transporte ferroviário.

Desta forma, neste estudo será abordado o transporte de soja e de farelo de soja, considerando como origem 46 municípios goianos e como destino os portos que receberão a carga destinada à exportação em navios.

Neste estudo o transporte destes insumos será feito de dois modos: rodoviário que representa o trecho unimodal com o trajeto dos municípios goianos ao porto e rodoferroviário que representa o percurso multimodal, sendo o trajeto rodoviário dos municípios goianos ao transbordo e o caminho ferroviário do transbordo ao porto.

Na Figura 10 é possível observar a representação sintética da rede a ser analisada neste estudo.

Figura 10 Rede a ser analisada neste estudo



Fonte: Elaborado pela autora com dados de Abiove (2022)

3.4.1. Produção (Volume de oferta de soja e farelo de soja)

Os volumes da produção de soja dos municípios goianos foram obtidos no site do Sistema IBGE de Recuperação Automática SIDRA (2023), que indica a produção agrícola municipal (PAM), seguindo os passos listados a seguir:

- Variável – Quantidade produzida (Toneladas);
- Produto das lavouras temporárias – Soja;
- Ano – foram selecionados os anos de 2017 a 2021;
- Unidades Territorial – Níveis territorial – Municípios.

Após a seleção de todos estes dados foi feito o download no formato .xlsx e então selecionados os 246 municípios do estado de Goiás.

Nas simulações foram considerados os 46 municípios (18% dos municípios goianos) com maior produção de soja e estas cidades produzem juntas mais de 80% da produção de todo o estado de Goiás. A Tabela 2 contém os volumes de soja produzida nos 46 municípios e a média percentual dos volumes nos anos 2017 a 2021. Esta média será utilizada como percentual referencial para os anos de 2022 (cenários de 01 a 04) e 2035 (otimização do transporte).

Tabela 2 Volumes de soja produzida nos 46 municípios e a média percentual dos volumes nos anos 2017 a 2021

[illegible]

Goiás	2017 (t)		2018 (t)		2019 (t)		2020 (t)		2021 (t)		Média % de 2017 a 2021
Vianópolis	1,14	129.500	1,19	136.900	1,21	134.400	1,21	154.980	1,17	160.000	1,18
Orizona	1,06	120.250	1,05	120.780	1,01	112.200	0,90	115.500	1,06	145.090	1,02
Serranópolis	1,00	113.400	0,87	100.240	0,91	101.200	0,75	96.600	0,87	118.800	0,88
Edealina	0,96	109.500	0,63	72.000	0,64	70.400	0,58	74.800	0,51	70.114	0,66
Pontalina	0,92	105.000	0,94	108.000	0,92	102.400	0,83	107.100	0,75	102.400	0,87
Cabeceiras	0,87	99.000	0,78	90.000	0,91	100.800	0,78	100.500	0,76	103.600	0,82
Morrinhos, Goiás	0,79	90.000	0,91	105.000	0,95	105.600	0,81	104.400	0,77	105.600	0,85
Gameleira de Goiás	0,78	88.800	0,81	92.500	0,76	84.000	0,77	98.800	0,70	95.940	0,76
Turvelândia	0,77	87.000	0,70	80.000	0,63	70.000	0,74	94.500	0,68	92.400	0,70
Itumbiara	0,75	85.000	0,95	108.900	0,82	90.720	0,86	110.400	0,91	124.200	0,86
Caldas Novas	0,73	82.500	0,94	108.000	1,04	115.500	0,87	112.200	0,85	115.500	0,89
Portelândia	0,71	81.250	0,68	78.100	0,75	82.800	0,58	74.800	0,63	85.500	0,67
Montes Claros de Goiás	0,70	80.060	0,91	104.608	1,01	112.200	1,08	139.200	1,05	144.000	0,95
Edéia	0,70	80.000	0,85	98.000	0,78	86.100	0,59	75.600	0,68	92.400	0,72
Joviânia	0,70	79.560	0,61	70.420	0,51	57.000	0,57	72.800	0,57	78.480	0,59
Vicentinópolis	0,70	79.200	0,60	69.020	0,52	58.140	0,57	73.500	0,65	88.200	0,61
Uruaçu	0,64	73.080	0,64	73.080	0,68	75.840	0,65	84.000	0,63	85.800	0,65
Quirinópolis	0,64	72.600	0,58	66.000	0,61	67.500	0,69	88.200	0,68	93.000	0,64
Palmeiras de Goiás	0,63	72.000	0,73	84.000	1,08	119.700	1,04	133.380	1,19	162.000	0,93
Santa Cruz de Goiás	0,53	60.390	0,53	61.200	0,52	57.120	0,51	66.150	0,65	88.580	0,55
Bela Vista de Goiás	0,49	55.500	0,48	54.900	0,49	53.760	0,53	68.040	0,66	89.535	0,53
Itaberaí	0,36	41.500	0,34	39.150	0,63	70.200	0,54	69.000	0,72	98.700	0,52
Doverlândia	0,36	40.800	0,55	63.000	0,58	64.380	0,49	63.000	0,56	77.000	0,51

Fonte: Informações do SIDRA (2023) sintetizadas pela autora no software excel

Para obter os dados da produção de 2022 e 2035 primeiramente foi feita a verificação da série histórica das safras de 1976/77 a 2022/23 de Goiás e do Brasil, utilizados os dados da planilha excel “SojaSerieHist” disponibilizada no site da CONAB (2023b) e a verificação dos dados de produção, consumo e exportação das safras de 2022/23 a 2032/33, disponível no caderno “Projeções do Agronegócio” (MAPA, 2023).

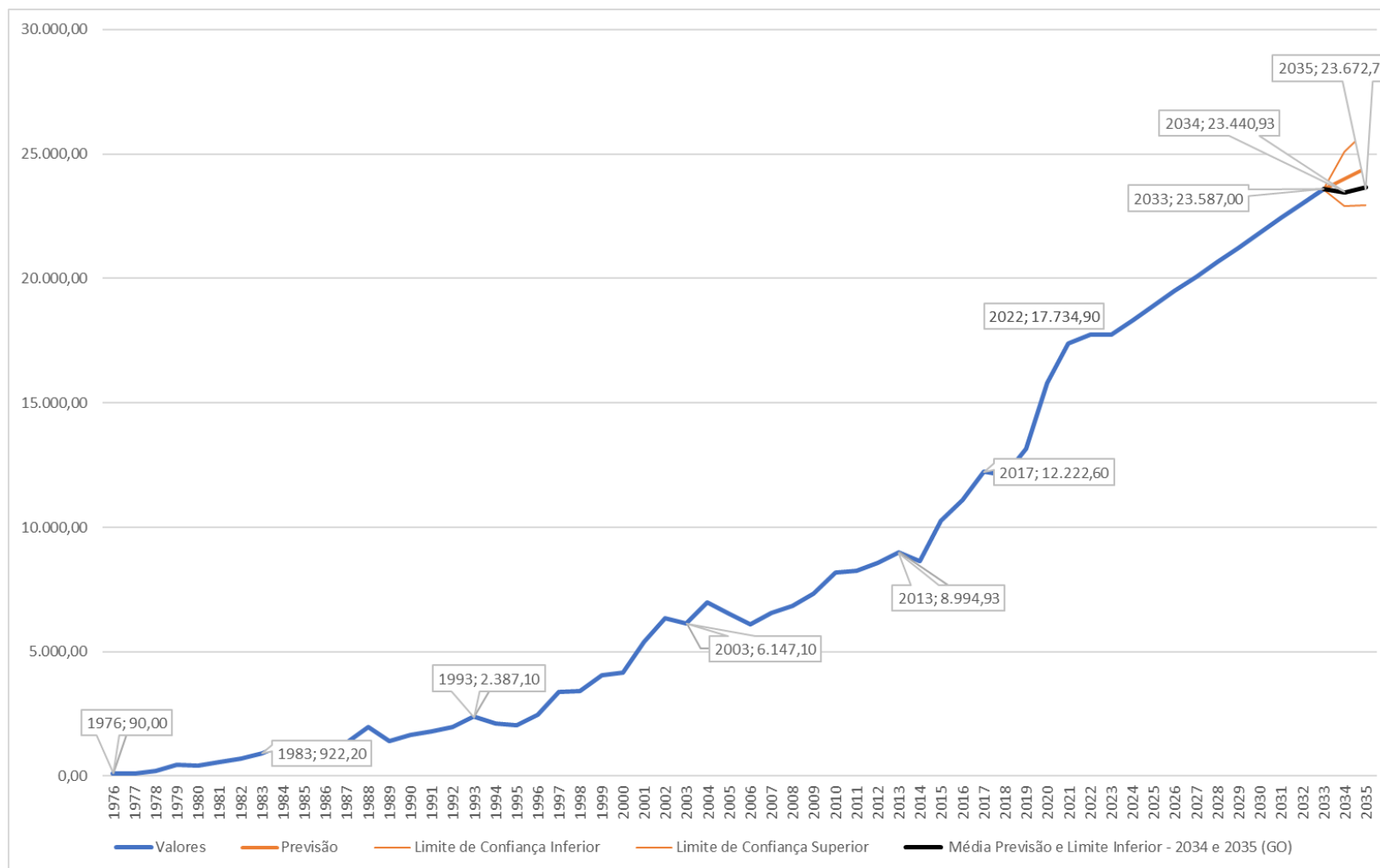
Após a análise dos dados destes dois Órgãos públicos foi elaborada uma tabela com os dados da CONAB (2023b) para os anos de 1976 a 2022 e do MAPA (2023) para os anos de 2023 a 2033. A partir desta tabela foi utilizado o recurso do excel “Planilha de Previsão”, foi obtida outra tabela com as colunas: Linha do Tempo, Valores, Previsão, Limite de Confiança Inferior e Limite de Confiança Superior. À tabela de previsão foi acrescentada a coluna Média Previsão e Limite Inferior - 2034 e 2035 (GO), conforme pode ser observado no Quadro 7 (Planilha de previsão, referente ao volume de soja produzida no estado de Goiás, com média dos valores de previsão e limite de confiança para os anos de 2034 e 2035).

Quadro 7 Planilha de previsão, referente ao volume de soja produzida no estado de Goiás, com média dos valores de previsão e limite de confiança para os anos de 2034 e 2035

Linha do Tempo	Valores	Previsão	Limite de Confiança Inferior	Limite de Confiança Superior	Média Previsão e Limite Inferior - 2034 e 2035 (GO)
1976	90,00				
(...)	(...)				
2017	12.222,60				
2018	12.097,90				
2019	13.159,40				
2020	15.785,90				
2021	17.389,90				
2022	17.734,90				
2023	17.735,00				
2024	18.320,20				
2025	18.905,40				
2026	19.490,60				
2027	20.075,80				
2028	20.661,00				
2029	21.246,20				
2030	21.831,40				
2031	22.416,60				
2032	23.001,80				
2033	23.587,00	23.587,00	23.587,00	23.587,00	23.587,00
2034		23.991,08	22.890,79	25.091,36	23.440,93
2035		24.413,28	22.932,26	25.894,31	23.672,77

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Figura 11 Gráfico da planilha de previsão, destacando os dados dos anos de 1976, 1983, 1993, 2003, 2013, 2017, 2022, 2033, 2034 e 2035



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tendo como referência os dados do Quadro 7 (Planilha de previsão, referente ao volume de soja produzida no estado de Goiás, com média dos valores de previsão e limite de confiança para os anos de 2034 e 2035), representado na Figura 11 Gráfico da planilha de previsão, destacando os dados dos anos de 1976, 1983, 1993, 2003, 2013, 2017, 2022, 2033, 2034 e 2035, foi elaborada a Tabela 3 com os dados dos Volumes de soja produzida nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035 (2022; 14.991.025 t / 2035; 20.010.217 t).

Tabela 3 Volumes de soja produzida nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035

Goiás	2022 (% / t)		2035 (% / t)		Goiás	2022 (% / t)		2035 (% / t)	
Rio Verde, Goiás	10,28	1.822.532	10,28	2.432.740	Vianópolis	1,18	210.066	1,18	280.398
Jataí	8,80	1.560.575	8,80	2.083.076	Orizona	1,02	180.321	1,02	240.695
Cristalina	7,09	1.257.498	7,09	1.678.524	Serranópolis	0,88	156.269	0,88	208.590
Montividiu	3,81	676.455	3,81	902.940	Edealina	0,66	117.801	0,66	157.242
Paraúna	3,29	582.725	3,29	777.829	Pontalina	0,87	155.070	0,87	206.989
Catalão	3,35	593.755	3,35	792.552	Cabeceiras	0,82	145.613	0,82	194.366
Chapadão do Céu	2,67	473.612	2,67	632.183	Morrinhos, Goiás	0,85	150.574	0,85	200.989
Mineiros	2,90	513.564	2,90	685.512	Gameleira de Goiás	0,76	135.367	0,76	180.690
Caiaapônia	1,76	312.691	1,76	417.384	Turvelândia	0,70	124.355	0,70	165.990
Ipameri	2,75	487.461	2,75	650.670	Itumbiara	0,86	151.945	0,86	202.818
Silvânia	2,16	383.726	2,16	512.202	Caldas Novas	0,89	157.056	0,89	209.641
Goiatuba	2,13	377.632	2,13	504.068	Portelândia	0,67	118.841	0,67	158.631
Piracanjuba	1,84	326.073	1,84	435.246	Montes Claros de Goiás	0,95	169.047	0,95	225.646
Bom Jesus de Goiás	1,67	296.127	1,67	395.274	Edéia	0,72	127.671	0,72	170.417
Campo Alegre de Goiás	1,96	346.809	1,96	462.926	Joviânia	0,59	105.306	0,59	140.564
Luziânia	1,80	318.519	1,80	425.163	Vicentinópolis	0,61	107.844	0,61	143.952
Perolândia	1,09	193.454	1,09	258.225	Uruaçu	0,65	115.131	0,65	153.679
Acreúna	1,36	240.675	1,36	321.256	Quirinópolis	0,64	113.153	0,64	151.039
Santa Helena de Goiás	1,43	253.855	1,43	338.849	Palmeiras de Goiás	0,93	165.635	0,93	221.091
Padre Bernardo	1,53	270.930	1,53	361.641	Santa Cruz de Goiás	0,55	97.304	0,55	129.883
Niquelândia	1,36	241.073	1,36	321.788	Bela Vista de Goiás	0,53	93.526	0,53	124.840
São João d'Aliança	1,04	183.603	1,04	245.076	Itaberaí	0,52	92.201	0,52	123.071
Água Fria de Goiás	1,11	197.388	1,11	263.476	Doverlândia	0,51	90.197	0,51	120.396
TOTAL						14.991.025 t		20.010.217 t	

Fonte: Informações do SIDRA (2023) sintetizadas pela autora no software excel

3.4.2. Exportação de soja e farelo de soja

Como dito anteriormente (Figura 9) o percentual de exportação da soja e farelo de soja corresponde a 76% da produção de soja. Desta forma, o volume a ser exportado (Tabela 4) é o resultado da multiplicação deste percentual pelos volumes de produção (Tabela 3).

Nos cenários de 01 a 04 (2022) será utilizado o volume igual a 11.391.128 t, que corresponde ao volume total ofertado pelas cidades relacionadas na Tabela 4 (Volumes médio de soja ofertada nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035) que serão representadas pela unidade federativa de Goiás.

Na otimização de 2035 serão considerados os volumes destinados à exportação de cada município goiano, pois a otimização vai depender da rota a ser traçada pelo próprio software utilizado para processar as informações.

Tabela 4 Volumes médio de soja ofertada nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035

Goiás	2022 (t)	2035 (t)	Goiás	2022 (t)	2035 (t)
Rio Verde, Goiás	1.385.096	1.848.844	Vianópolis	159.614	213.055
Jataí	1.186.465	1.583.709	Orizona	136.559	182.280
Cristalina	955.911	1.275.962	Serranópolis	118.824	158.608
Montividiu	514.312	686.510	Edealina	88.675	118.364
Paraúna	443.373	591.819	Pontalina	117.050	156.240
Catalão	450.466	601.288	Cabeceiras	109.956	146.771
Chapadão do Céu	360.018	480.557	Morrinhos, Goiás	115.277	153.873
Mineiros	390.168	520.801	Gameleira de Goiás	102.862	137.302
Caiapônia	237.648	317.215	Turvelândia	93.995	125.466
Ipameri	370.659	494.761	Itumbiara	115.277	153.873
Silvânia	290.852	388.233	Caldas Novas	118.824	158.608
Goiatuba	287.305	383.499	Portelândia	90.448	120.731
Piracanjuba	248.289	331.419	Montes Claros de Goiás	127.691	170.444
Bom Jesus de Goiás	225.233	300.644	Edéia	97.542	130.200
Campo Alegre de Goiás	264.250	352.724	Joviânia	79.807	106.527
Luziânia	241.195	321.950	Vicentinópolis	81.581	108.895
Perolândia	147.200	196.484	Uruaçu	86.901	115.997
Acreúna	182.669	243.830	Quirinópolis	85.128	113.629
Santa Helena de Goiás	193.310	258.033	Palmeiras de Goiás	125.918	168.077
Padre Bernardo	205.725	274.604	Santa Cruz de Goiás	74.487	99.426
Niquelândia	182.669	243.830	Bela Vista de Goiás	70.940	94.691
São João d'Aliança	140.106	187.015	Itaberaí	70.940	94.691
Água Fria de Goiás	150.747	201.219	Doverlândia	69.166	92.324
VOLUME TOTAL				11.391.128 t	15.205.022 t

Fonte: Informações do SIDRA (2023) sintetizadas pela autora no software excel

3.4.3. Dados gerais da cadeia de transporte da soja (uni e multimodal)

Para obter os dados sobre a logística de soja em Goiás, incluindo as regiões de produção, rotas de transporte (rodoviário e ferroviário), pontos de transbordo, portos para exportação da soja foram visitados vários sites de fontes conforme item 2.2 Dados da soja no estado de Goiás.

Para auxiliar a obtenção dos dados do transporte de soja em Goiás foram utilizados alguns softwares, como por exemplo: Excel, *Keyhole Markup Language* (KML) e *ShapeFile* (SHP) para os dados geográficos e na geração de mapas, QGIS (software livre com código aberto) e o MyMaps, da Google associado ao API google.

3.4.4. Terminais ferroviários

3.4.4.1. Dados da via ferroviária

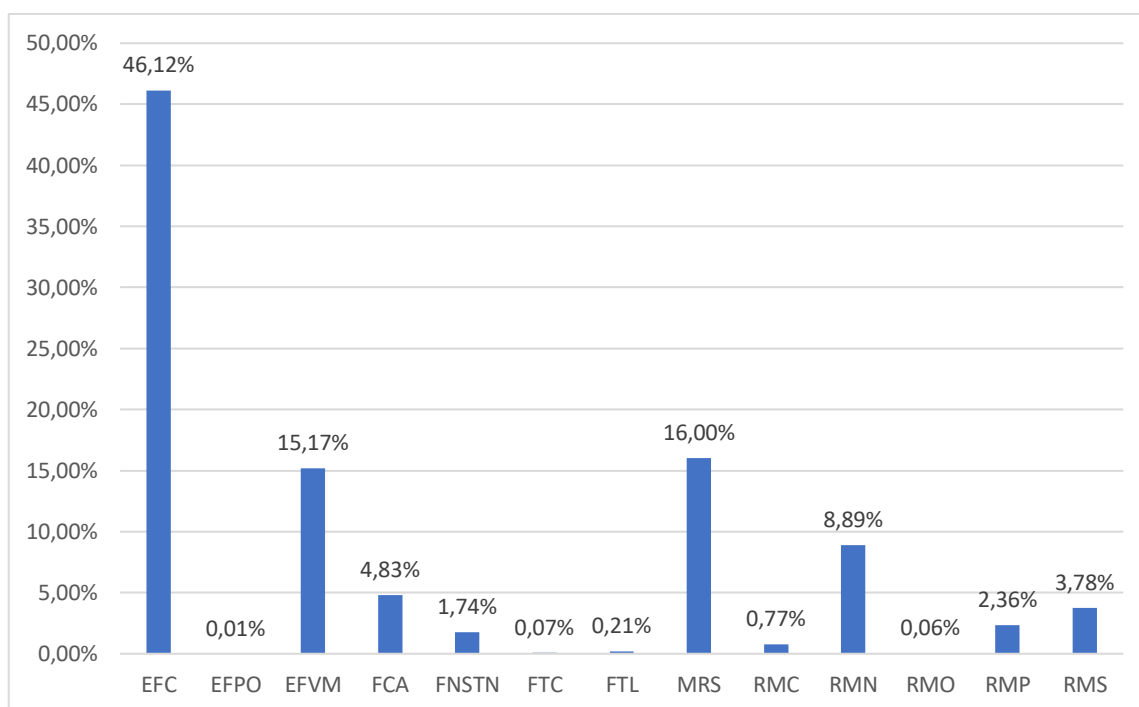
Com o objetivo de compreender como o transporte ferroviário é utilizado atualmente foi feita a análise das planilhas constantes no arquivo “Transporte de Carga - Origem Destino-2006 - janeiro 2023.xlsx” (ANTT, 2023b). Desta análise foi possível aferir que:

- Atualmente no Brasil há 13 ferrovias, sendo que em 2006 havia 11 ferrovias (EFC, EFPO, EFVM, FCA, FTC, FTL, MRS, RMN, RMO, RMP, RMS), em janeiro de 2008 foi incluída a ferrovia FNSTN e em março de 2021 a RMC;
- Em janeiro de 2023 foram transportados 62 tipos de carga, mas cabe ressaltar que há variação no tipo de cargas consideradas ao longo dos anos;
- Foram identificados 469 tipos de origem-destino em janeiro de 2023;
- Para compreender melhor como está sendo feito o transporte de cargas atualmente foi feita uma análise mais detalhada da planilha de 2023, onde os resultados serão apresentados na seção a seguir.

Da planilha de 2023 foram obtidos os dados apresentados nas figuras:

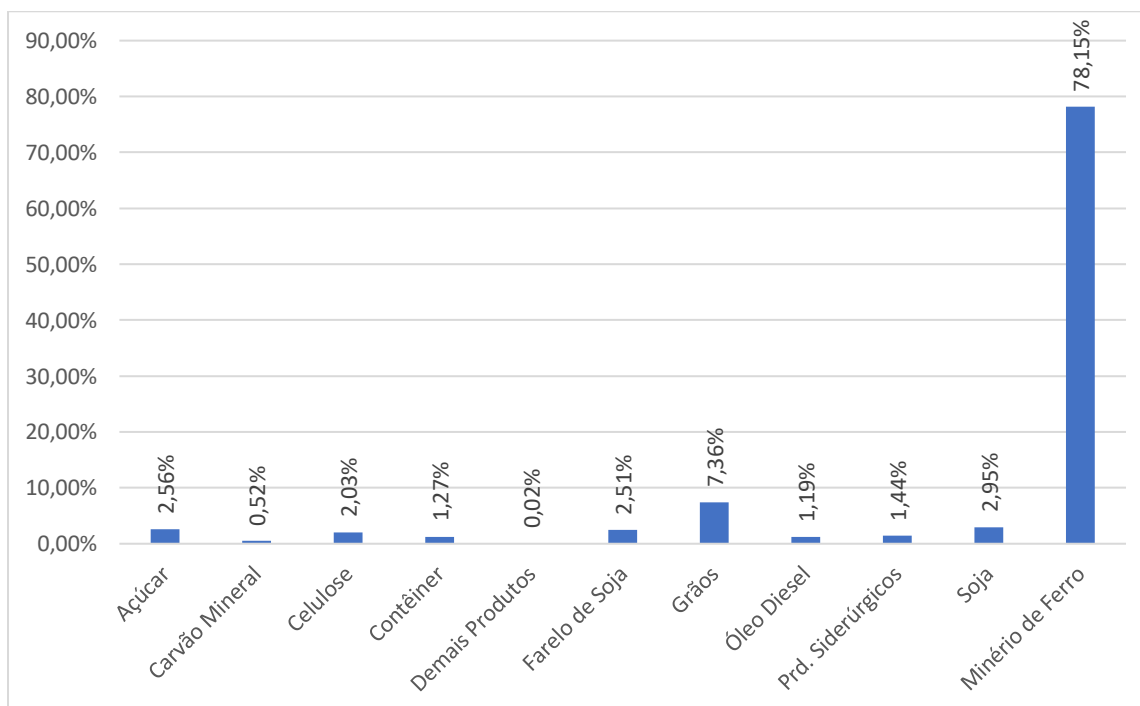
- Figura 12 Representatividade das malhas ferroviárias em % de TKU (Tonelada Km Útil)
- Figura 13 Representatividade das principais cargas, em % de TKU (Tonelada Km Útil)

Figura 12 Representatividade das malhas ferroviárias em % de TKU (Tonelada Km Útil)



Fonte: Adaptado de ANTT 2023b Tabela Origem Destino

Figura 13 Representatividade das principais cargas, em % de TKU (Tonelada Km Útil)



Fonte: Adaptado de ANTT 2023b Tabela Origem Destino

Da Figura 13, Representatividade das principais cargas, em % de TKU (Tonelada Km Útil) é possível verificar que a mercadoria mais transportada nas ferrovias é o minério de ferro,

em segundo lugar os grãos e a soja e o farelo de soja o terceiro lugar. Neste estudo serão analisadas apenas as cargas de Farelo de soja e Soja.

A matriz de origem e destino do transporte ferroviário da soja foi elaborada tendo como referências mapas, dados de extensões dos trechos e informações gerais das seguintes instituições: mapa da INFRA-S.A. (2022), mapa da concessionária VLi (2023), GOINFRA (2023c), ANTT (2023b) e ANTT (2023a).

Os dados de Origem/Destino, tipo de mercadoria transportada, TU (Tonelada Útil) e TKU (Tonelada quilômetro Útil) foram obtidos da planilha excel “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023” (ANTT, 2023b).

Atualmente, 2023, no estado de Goiás há duas malhas férreas que se iniciam nesta unidade federativa e possibilitam acesso aos portos situados no oceano atlântico, a saber: FCA e RMC.

A malha FCA - Ferrovia Centro Atlântica (concessionada para a VLi), que tem estação ferroviária em Anápolis (General Curado) e em Ipameri, recebe carga de farelo de soja. O farelo carregado em Anápolis tem como destino o porto de Vitória, ES e o terminal de Ipameri o porto de Santos.

A malha RMC - Rumo Malha Central (concessionada para a Rumo), que possui terminal de cargas nos municípios de Rio Verde e São Simão faz o transporte de soja e de farelo de soja com destino ao porto de Santos.

3.4.4.2. Dados gerais dos terminais/estações de transbordo

Os impactos da não emissão de CO₂ e do início de operação da Rumo Malha Central (RMC), cenários 01 a 04, serão avaliados considerando os quatro terminais do estado de Goiás que estavam em operação no ano de 2022, a saber: General Curado (Anápolis), Ipameri, Rio Verde e São Simão. O impacto do início da operação da RMC será avaliado considerando, no cenário 02, o volume transportado em 2017 pelos terminais de Anápolis e Ipameri (obtido da ANTT, 2023b) e para o cenário 03 o volume transportado pelas quatro estações em 2022.

Para avaliar o cenário de possibilidade de transporte de soja e farelo no ano de 2035 foram considerados os quatro principais terminais que estavam em operação em 2022 e mais dois terminais hipotéticos que provavelmente serão instalados até 2035 e que interligam as vias estruturantes da malha ferroviária (Porto Nacional e Figueirópolis – Tocantins). Nos subitens a seguir será feita uma abordagem resumida destes terminais ferroviários mencionados.

- Os vagões plataforma transportam contêineres cheios de 40 pés e tem como origem Paulínia, SP (Replan) e destino Anápolis, GO (General Curado).

As duas estações, segundo dados da ANTT (2023b), desde janeiro de 2006 estão em operação e até março de 2021 (início da operação da malha Rumo Malha Central) eram os únicos transbordos ferroviários para fazer o transporte de farelo de soja até o porto utilizado para exportação. O farelo carregado em Anápolis tem como destino o porto de Tubarão (Vitória, ES) e no terminal de Ipameri o porto de Santos, SP.

3.4.4.4. Terminais de São Simão e Rio Verde

A malha RMC (concessionada para a Rumo) possui dois terminais de cargas: um no município de Rio Verde outro em São Simão. O transporte de soja e de farelo de soja realizado nestas estações tem como destino o porto de Santos/SP.

Nos trajetos com origem o município de Rio Verde/GO e São Simão/GO, os vagões *hopper* fazem o transporte de soja e de farelo de soja com destino a: Guarujá, SP (Conceiçãozinha), Santos/SP (Estação TUF) e Santos/SP.

Segundo dados da ANTT (2023b) o primeiro terminal a iniciar a operação, no mesmo mês da inauguração da malha RMC, foi o terminal de São Simão, em março de 2021 e o segundo o de Rio Verde em junho de 2021.

Até o momento, no terminal de São Simão/GO, os vagões *hopper* não fazem o transporte de carga no retorno à São Simão/GO, enquanto a estação de Rio Verde faz o transporte de carga no retorno carregando nos portos de Guarujá/SP (Conceiçãozinha), Cubatão/SP e de Santos/SP (Estação TUF - margem esquerda). Estas estações estão localizadas na margem esquerda do porto de Santos e neste estudo é considerado o transporte de carga apenas para a margem direita do porto de Santos.

Desta forma, não será avaliado o frete de retorno neste estudo.

No ano de 2022 o terminal de Rio Verde/GO foi o transbordo com maior movimentação de cargas para transporte ferroviário no estado de Goiás. No apêndice B constam algumas imagens que detalham a estrutura de operação do terminal.

3.4.4.5. Terminais de Porto Nacional e de Figueirópolis

Os dois terminais estão localizados no estado do Tocantins. O terminal de Porto Nacional apenas destina carga de soja para o porto de Ponta da Madeira Pêra do Pêr/MA, mas será neste estudo será considerado o volume recepcionado neste transbordo no ano de 2022 para

depois estimar o volume que será transportado em 2035. Já o terminal de Figueirópolis ainda não está em operação.

O terminal de Porto Nacional fará a ligação da malha da FNS - Ferrovia Norte Sul (Açailândia/MA à Porto Nacional/TO) e a malha RMC (Porto Nacional/TO à Santos/SP). Com os dados da planilha de 2022 do arquivo excel “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023” (ANTT, 2023b), foi obtida a quantidade de soja e de farelo de soja destinada a este transbordo durante o ano de 2022, no valor de 3.000.862 toneladas.

Já o terminal de Figueirópolis fará a ligação de duas malhas nacionais estruturantes: FNS (Ferrovia Norte Sul) e FIOL (Ferrovia de Integração Oeste Leste). A origem do trecho da FIOL é o terminal ferroviário de Figueirópolis/TO e destino o porto de Ilhéus/BA.

3.4.4.6. Resumo das capacidades dos transbordos nos anos 2017, 2022 e 2035

Os cenários 01 a 04, que abordarão o impacto financeiro da não emissão de CO₂ e do início da operação da malha RMC, foram estruturados tendo como referência os volumes de soja e farelo de soja transportados para os quatro transbordos do estado de Goiás (Anápolis, Ipameri, São Simão e Rio Verde) nos anos de 2017 e 2022 utilizando os dados da ANTT (2023b), conforme será apresentado no Quadro 8.

Para o ano de 2035 as capacidades dos pontos de transbordo de Anápolis/GO, Ipameri/GO, Rio Verde/GO, São Simão/GO e Porto nacional/TO, foram estimadas da seguinte forma:

Etapa 1: Com os dados da planilha de 2022 do arquivo excel “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023 (ANTT, 2023b), foi obtida a quantidade de soja e de farelo de soja transportada nestes cinco transbordos durante os anos de 2017 e 2022, conforme será apresentado no Quadro 8.

Etapa 2: Da projeção de volume de demanda de farelo de soja, outras farinhas e grão de soja dos 4 portos (São Luís, Ilhéus, Vitória e Santos) para os anos de 2025 e 2035 foi obtida a taxa de crescimento igual à 19,37%.

Etapa 3: Multiplicação a taxa de crescimento pelo volume transportado em 2022 (ver Quadro 8).

Etapa 4: Obter informações do volume a ser transportado no terminal de Figueirópolis, TO. Em consulta ao site da ANTT (2023a) referente ao trecho I (Ilhéus/BA – Caetité/BA) da ferrovia FIOL (Ferrovia de Integração Oeste-Leste) foi verificado que a partir de 2028 a demanda poderá ser complementada, com cerca de 4 milhões de toneladas de grãos

provenientes da região de Barreiras. Desta forma, para o ponto de transbordo de Figueirópolis (TO) foi considerada a capacidade de 4 milhões de toneladas.

No Quadro 8 consta os volumes estimados de soja e farelo de soja (t) transportados nos seis transbordos em 2035 e o resumo das capacidades dos transbordos de Anápolis/GO e Ipameri/GO para o ano de 2017 e para os transbordos de Anápolis/GO, Ipameri/GO, São Simão/GO, Rio Verde/GO e Porto Nacional/TO para o ano de 2022.

Quadro 8 Resumo das capacidades dos transbordos (em toneladas)

Transbordos	Anápolis, GO	Ipameri, GO	Rio Verde, GO	São Simão, GO	Porto Nacional, TO	Figueirópolis, TO
2017	215.035 (59%)	150.747 (41%)	-	-	-	-
2022	330.886 (11%)	199.812 (7%)	2.037.180 (66%)	503.441 (16%)	-	-
2035	394.979 (3,51%)	238.516 (2,12%)	2.431.782 (21,62%)	600.958 (5,34%)	3.582.129 (31,85%)	4.000.000 (35,56%)

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.5. Portos e a exportação de soja e farelo de soja

Segundo CONAB (2023a), os principais portos exportadores de soja e de farelo de soja, em janeiro a junho de 2022 e 2023 foram os portos relacionados no Quadro 9.

Quadro 9 Principais portos exportadores de soja e de farelo de soja, em janeiro a junho de 2022 e 2023

DESTINO – UF/PORTO	MÉDIA PART.% - 2022 -2023		
	SOJA	FARELO DE SOJA	SOJA + FARELO DE SOJA
Itaqui - MA	10,8%	-	10,8%
Barcarena - PA	11,6%	-	11,6%
Santarém - PA	3,9%	-	3,9%
Itacoatiara - AM	3,7%	0,3%	4,0%
Salvador - BA	2,4%	0,9%	3,3%
Santos - SP	32,5%	6,4%	38,9%
Paranaguá - PR	9,1%	4,3%	13,4%
Rio Grande - RS	2,8%	2,4%	5,2%
Imbituba - SC	-	0,4%	0,4%
São Francisco do Sul - SC	3,8%	-	3,8%
Vitória - ES (Porto de Tubarão)	2,8%	0,3%	3,1%
Outros	1,3%	0,3%	1,6%

Fonte: Adaptado de Conab (2023a) - COMEX STAT - Elaboração: GELOG - SULOG – CONAB

Ao analisar os dados dos portos listados no Quadro 9 juntamente com os dados da planilha excel “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023” (ANTT, 2023b) e outros bancos de dados e ainda o mapa da malha ferroviária da INFRA-S.A. (2022), ver Figura 14, foi verificado quais portos tem como origens os pontos de transbordos ferroviários. Assim, foi elaborado o Quadro 10 que relaciona as características dos portos em relação ao transporte ferroviário.

Quadro 10 Portos x características referente ao transporte ferroviário

Portos	Características referente ao transporte ferroviário
Itaqui, MA	Localizado em São Luiz do Maranhão é um importante porto do norte do país e o principal porto de exportação de soja e farelo da região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Desta forma, este porto foi considerado no estudo.
Barcarena, PA	Não há ferrovia operante e não foram localizados dados da previsão do início da construção e da extensão do trecho de Barcarena, PA à Açailândia, MA. Apenas há funcionalidade o trecho da estação Serra Sul, PA (município de Canaã dos Carajás), passando pela estação de Açailândia, MA à estação de Ponta da Madeira, MA (município de São Luiz, próximo ao porto de Itaqui). Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Santarém, PA	Não consta transporte ferroviário de mercadoria para este porto. **OBS.: No mapa da INFRA-S.A. (2022) é possível observar que há um pequeno trecho ferroviário que provavelmente é utilizado para o transporte particular de minério de ferro. Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Itacoatiara, AM	Não consta ferrovia para o estado do Amazonas. A ferrovia mais próxima está localizada no Pará (E.F. Trombetas - já construída). Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Salvador, BA (Aratu)	As mercadorias recebidas são: *CAL proveniente da estação de Nova Granja, MG (município de São José da Lapa - próximo ao município de Belo Horizonte) e; * Magnesita proveniente da estação de Catiboaba, BA. Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Santos, SP	Considerando o transporte ferroviário é o principal porto utilizado para exportar a soja e o farelo do estado de Goiás. Desta forma, este porto foi considerado no estudo.
Paranaguá, PR	Não consta transporte ferroviário de mercadoria para este porto. Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Rio Grande, RS	A soja e o farelo que chegam no porto de Rio Grande, RS são provenientes de estações do estado do Paraná (Cascavel, Londrina e Rolândia - soja) e de estações do estado do Rio Grande (Cacequi, J. de Castilho, Santo Ângelo, Tigre e Tupanciretã – soja / Cruz Alta e Ijuí – soja e farelo). Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Imbituba, SC	Consta apenas transporte de container de Eng. Paz Ferreira, SC ao porto. Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
São Francisco do Sul, SC	A soja que chega no porto de São Francisco do Sul (SC) é proveniente de estações do estado do Paraná (Cascavel, Londrina, Marialva, Maringá e Rolândia). Desta forma, este porto NÃO foi considerado no estudo.
Vitória, ES (Porto de Tubarão)	Considerando o transporte ferroviário é o segundo porto para exportação de soja do estado de Goiás Desta forma, este porto foi considerado no estudo.

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Dos portos listados no Quadro 10, serão considerados neste estudo apenas os portos de Itaqui (São Luiz, MA), Santos/SP e Vitória/ES. Os portos de Vitória/ES (Complexo de Tubarão) e de Santos/SP foram considerados para avaliar o impacto financeiro da não emissão de CO₂ nos cenários 01 a 04 no ano de 2022.

Para avaliar a otimização do transporte rodoferroviário no ano de 2035 foi considerada a operação de quatro portos:

- Vitória/ES e Santos/SP: Estes portos desde 2006 recebem soja e farelo de soja advindos de Goiás utilizando o transporte ferroviário.
- Itaqui (São Luís/MA): Este porto recebe soja e farelo de soja advindos de outras unidades federativas.
- Ilhéus/BA: Este porto será descrito no item a seguir (3.4.5.1).

3.4.5.1. Porto de Ilhéus/BA

Segundo CODEBA (2023), hoje, além do cacau, o porto faz movimentação de soja, milho, amêndoas, óxido de magnésio, concentrado de níquel, peças industrializadas e carga geral. Também atua como operador turístico, obtendo nos últimos anos um expressivo crescimento dessa atividade.

Em consulta ao site da ANTT (2023a) referente ao trecho I (Ilhéus/BA – Caetité/BA) da ferrovia FIOI (Ferrovia de Integração Oeste-Leste) foi verificado que a partir de 2028 a demanda poderá ser complementada, com cerca de 4 milhões de toneladas de grãos provenientes da região de Barreiras. Desta forma, para o ponto de transbordo de Figueirópolis (TO) foi considerada a capacidade de 4 milhões de toneladas.

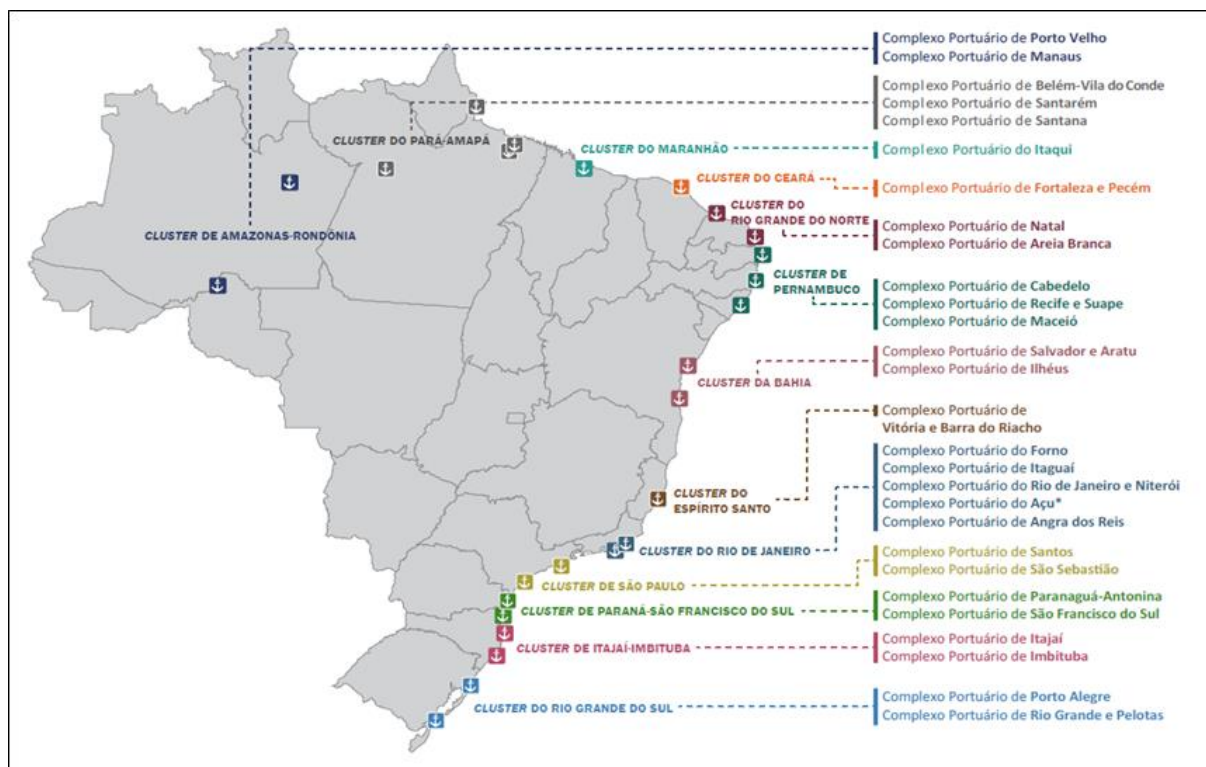
A principal mercadoria a ser transportada pela FIOI no trecho I é o minério de ferro proveniente das minas da Bamin, na região de Caetité. A demanda inicial está prevista em 16,1 milhões de toneladas em 2025, alcançando 35,3 milhões de toneladas em 2035. Esta demanda poderá ser complementada, a partir de 2028, com cerca de 4 milhões de toneladas de grãos provenientes da região de Barreiras.

A qualificação dos trechos II e III da FIOI no Programa de Parcerias de Investimentos possibilitará que, por meio de uma nova subconcessão, o trecho II tenha as suas obras concluídas, conectando o Porto de Ilhéus à região produtora de grãos de Barreiras/BA, bem como, após a conclusão do trecho III, a FIOI esteja conectada com a Ferrovia Norte-Sul em Figueirópolis/TO, acrescentando mais de 8 milhões de toneladas anuais em direção ao Porto de Ilhéus e cerca de 1,4 milhão de toneladas anuais de Ilhéus para Figueirópolis, a partir de 2038.

Estes números são provenientes de estudos realizados pelo Governo do Estado da Bahia em dezembro de 2017, visando subsidiar a subconcessão da FIOIOL.

Os dados dos portos de A Figura 15 (Definição e localização dos *clusters* portuários), obtida de PNLP 2019 (Transportes, 2019), define e demonstra a localização dos clusters portuários e os respectivos complexos portuários.

Figura 15 Definição e localização dos *clusters* portuários



Fonte: Adaptado de PNLP 2019

3.4.5.2. Capacidade dos portos (2022 e 2035)

A capacidade de cada porto foi estimada tendo como referência os dados do PNLP 2019, considerando o que segue.

Etapas 1: Com os dados da figura 15 do PNLP 201, reproduzida na Figura 16, foi verificado a capacidade atual dos *clusters* de São Paulo, do Espírito Santo, do Maranhão e da Bahia para depois verificar qual o percentual de capacidade dos portos para análise nos anos de 2022 (São Paulo e Espírito Santo) e 2035 (São Paulo, Espírito Santo, Maranhão e Bahia).

Figura 16 Demanda vs. capacidade de graneis sólidos vegetais por cluster portuário [Figura 15 do PNLP]



Fonte: Adaptado de PNLP 2019

No Quadro 11 e no Quadro 12 é abordado o cálculo do percentual de capacidade dos portos.

Quadro 11 Percentual de capacidade dos portos para análise no ano de 2022

Clusters portuários	Capacidade atual dos clusters	
	x10 ⁶ de t	%
Cluster do Espírito Santo	6,18	8,01%
Cluster de São Paulo	70,99	91,99%
Soma dos 2 Clusters	77,17	100 %

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Quadro 12 Percentual de capacidade dos portos para análise no ano de 2035

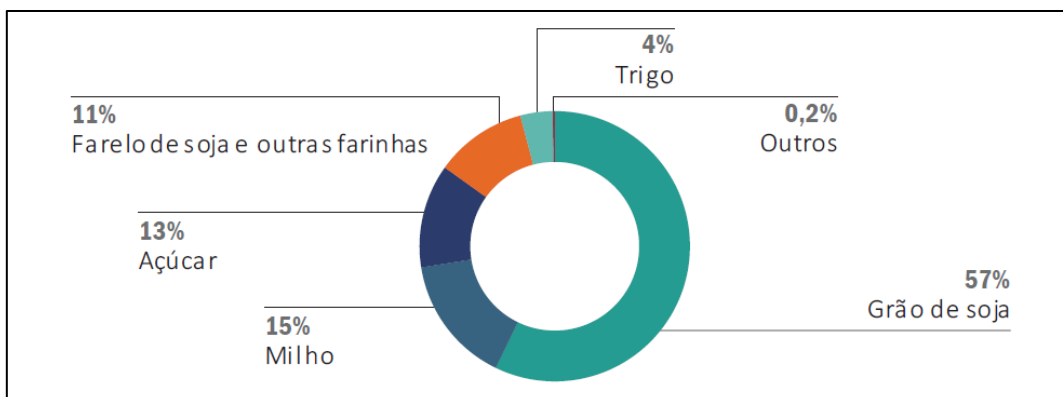
Clusters portuários	Capacidade atual dos clusters	
	x10 ⁶ de t	%
Cluster do Maranhão	11,84	12,11%
Cluster da Bahia	8,74	8,94%
Cluster do Espírito Santo	6,18	6,32%
Cluster de São Paulo	70,99	72,62%
Soma dos 4 Clusters	97,75	100 %

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Etapa 2: O percentual de contribuição de soja e de farelo de soja que chega nos portos foi obtido do gráfico 11 do PNLP 2019 (Figura 17) ao somar os percentuais de farelo de soja e outras farinhas (11%) e de grão de soja (57%). Assim o percentual de soja e de farelo de soja recepcionado nos portos é igual à 68%.

Figura 17 Representatividade dos produtos de granel sólido vegetal nas movimentações: observado (2018)

[Gráfico 11 do PNLP]



Fonte: Adaptado de PNLP 2019

Etapa 3: Do gráfico 4 do PNLP 2019 (Figura 18) foram considerados os dados de projeção de demanda de carga de granel sólido vegetal, em milhões de toneladas para os anos de 2025 (191 milhões de toneladas) e 2035 (228 milhões de toneladas).

Etapa 4: A capacidade de recebimento de soja e de farelo de soja em cada porto, considerando os anos de 2022 e 2035, foi obtida da multiplicação das três parcelas:

Parcela 1: Capacidade atual dos clusters em % (2022 Quadro 11 e 2035 Quadro 12)

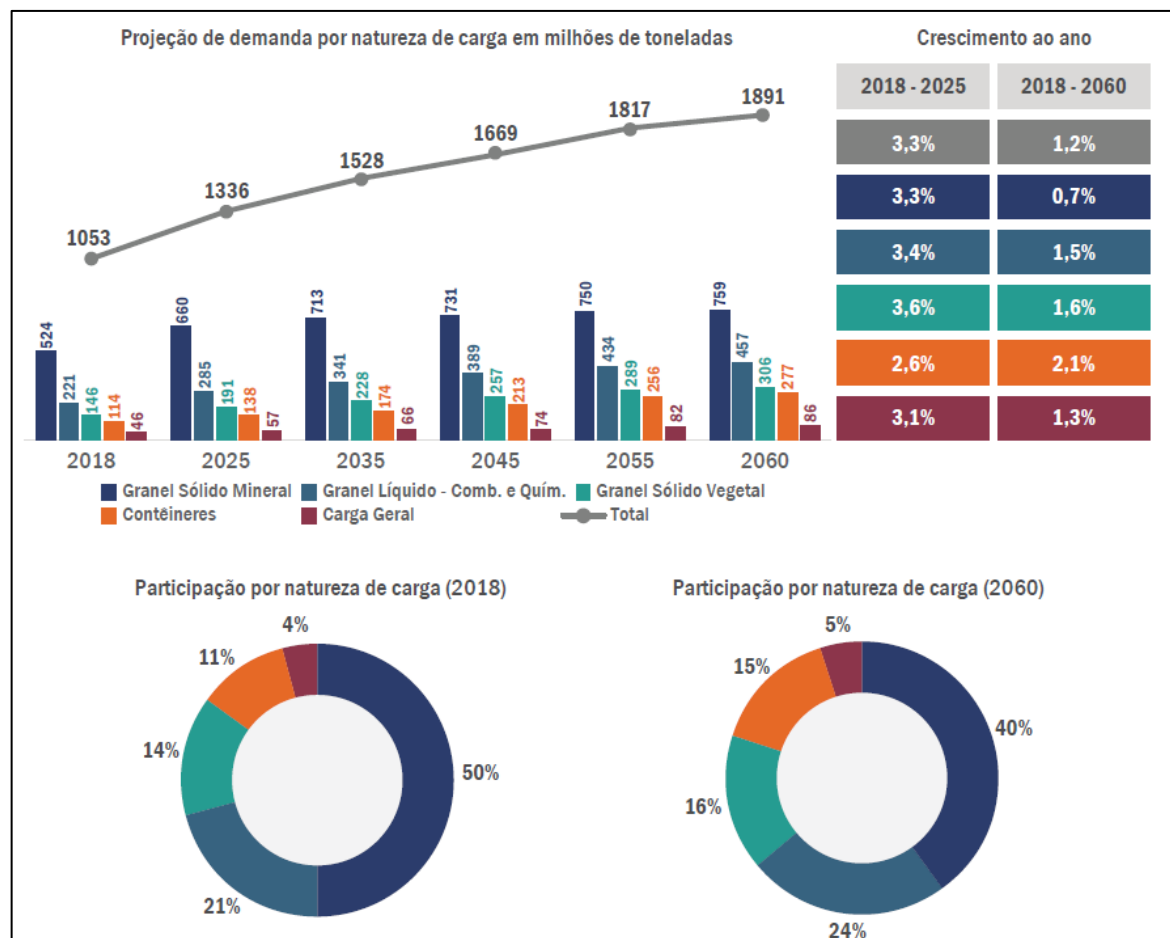
Parcela 2: Percentual de soja e de farelo de soja recepcionado nos portos (68%)

Parcela 3: Projeção de demanda de carga de granel sólido vegetal:

191 milhões de toneladas para o ano de 2022 (considerando dados de 2025).

228 milhões de toneladas para o ano de 2035.

Figura 18 Crescimento e participação por natureza de carga: observado (2018) e projetado (2019-2060)
[Gráfico 4 do PNLP]



Fonte: Adaptado de PNLP 2019

Desta forma, o Quadro 13 demonstra o cálculo da capacidade dos *clusters* em 2022 e o Quadro 14 para o ano de 2035.

Quadro 13 Capacidade de demanda dos *clusters*, para farelo de soja e grãos de soja, em 2022

Clusters portuários	Capacidade dos clusters (%)	% Grãos e Farelo de soja	Demanda projetada granel sólido vegetal em 2022 (x10 ⁶ t)	Capacidade dos clusters (farelo e grãos de soja) em 2022
Cluster do Espírito Santo	= 8,01%	x 68%	x 191	= 10,4 x10 ⁶ t 8%
Cluster de São Paulo	= 91,99%	x 68%	x 191	= 119,48 x10 ⁶ t 92%
Soma dos 2 Clusters	Σ 100%			Σ 129,88 x10⁶ t 100%

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Quadro 14 Capacidade de demanda dos *clusters*, para farelo de soja e grãos de soja, em 2035

<i>Clusters</i> portuários		Capacidade dos <i>clusters</i> (%)		% Grãos e Farelo de soja		Demanda projetada granel sólido vegetal em 2022 (x10 ⁶ t)		Capacidade dos <i>clusters</i> (farelo e grãos de soja) em 2022	
<i>Cluster</i> do Maranhão	=	12,11%	x	68%	x	228	=	18,8 x10 ⁶ t	12%
<i>Cluster</i> da Bahia	=	8,94%	x	68%	x	228	=	13,86 x10 ⁶ t	9%
<i>Cluster</i> do Espírito Santo	=	6,32%	x	68%	x	228	=	9,8 x10 ⁶ t	6%
<i>Cluster</i> de São Paulo	=	72,62%	x	68%	x	228	=	112,59 x10 ⁶ t	73%
Soma dos 4 <i>Clusters</i>	Σ	100%					Σ	129,88 x10⁶ t	100%

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

A multiplicação dos percentuais do Quadro 13 e do Quadro 14 pelo volume de farelo e grãos de soja originado dos municípios goianos com destino aos portos nos anos de 2022 (11.391.128 t) e em 2035 (15.205.022 t), expostas no item 3.4.2 (Exportação de soja e farelo de soja), resulta capacidade dos portos em toneladas que serão expostas no Quadro 15, apresentado a seguir.

Quadro 15 Resumo das capacidades dos portos (em toneladas)

PORTOS	Santos, São Paulo	Vitória, Espírito Santo	São Luís, Maranhão	Ilhéus, Bahia	Demanda
2022	10.479.838 (92%)	911.290 (8%)	-	-	11.391.128 (100%)
2035	11.099.666 (73%)	912.301 (6%)	1.824.603 (12%)	1.368.452 (9%)	15.205.022 (100%)

Fonte: Informações do PNLP 2019 sintetizadas pela autora no software excel

3.4.6. Distâncias de transporte

3.4.6.1. Distâncias do trecho rodoviário (Goiás ao porto e Goiás ao transbordo)

Foram considerados 46 municípios como pontos de origem que representam pouco mais que 80% do volume de exportação da soja em Goiás, 6 pontos de transbordo e 4 portos.

As distâncias rodoviárias, Goiás ao porto e Goiás ao transbordo, foram obtidas utilizando planilha google, Google Maps e a API do Google Maps (*Application Programming Interface* - Interface de programação de aplicações).

As distâncias dos percursos rodoviários são apresentadas na Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 5 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Itaqui e Ilhéus

Goiás	Itaqui, MA	Ilhéus, BA	Goiás	Itaqui, MA	Ilhéus, BA
Rio Verde, Goiás	2.265.594	1.744.458	Vianópolis	2.057.508	1.473.245
Jataí	2.357.589	1.834.777	Orizona	2.101.318	1.520.595
Cristalina	2.121.520	1.284.218	Serranópolis	2.412.576	1.889.763
Montividiu	2.258.471	1.788.833	Edealina	2.143.605	1.666.782
Paraúna	2.138.750	1.669.111	Pontalina	2.135.253	1.635.522
Catalão	2.247.552	1.365.622	Cabeceiras	1.970.895	1.259.344
Chapadão do Céu	2.515.735	1.992.922	Morrinhos, Goiás	2.138.743	1.530.640
Mineiros	2.462.441	1.939.628	Gameleira de Goiás	2.020.892	1.491.299
Caiapônia	2.240.336	1.844.207	Turvelândia	2.210.470	1.627.436
Ipameri	2.186.224	1.423.893	Itumbiara	2.216.462	1.471.080
Silvânia	2.048.199	1.490.709	Caldas Novas	2.198.147	1.475.775
Goiatuba	2.184.019	1.522.319	Portelândia	2.414.153	1.967.611
Piracanjuba	2.094.341	1.582.306	Montes Claros de Goiás	2.082.681	1.777.016
Bom Jesus de Goiás	2.233.759	1.537.077	Edéia	2.131.758	1.638.459
Campo Alegre de Goiás	2.244.507	1.345.078	Joviânia	2.189.507	1.570.126
Luziânia	2.058.783	1.369.765	Vicentinópolis	2.184.694	1.687.211
Perolândia	2.343.171	1.899.897	Uruaçu	1.731.467	1.552.685
Acreúna	2.194.554	1.665.496	Quirinópolis	2.331.848	1.616.604
Santa Helena de Goiás	2.251.804	1.721.800	Palmeiras de Goiás	2.050.113	1.592.793
Padre Bernardo	1.879.386	1.403.396	Santa Cruz de Goiás	2.152.358	1.445.479
Niquelândia	1.819.040	1.449.796	Bela Vista de Goiás	2.058.854	1.559.123
São João d'Aliança	1.935.106	1.223.225	Itaberaí	1.940.794	1.586.164
Água Fria de Goiás	1.950.080	1.336.370	Doverlândia	2.304.234	1.908.105

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 6 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos

Goiás	Vitória, ES	Santos, SP	Goiás	Vitória, ES	Santos, SP
Rio Verde, Goiás	1.383.553	1.003.532	Vianópolis	1.291.422	965.230
Jataí	1.474.337	1.060.337	Orizona	1.230.870	920.052
Cristalina	1.113.664	953.592	Serranópolis	1.529.323	1.002.210
Montividiu	1.431.626	1.051.604	Edealina	1.339.866	959.844
Paraúna	1.439.545	1.059.523	Pontalina	1.308.606	928.584
Catalão	1.126.835	770.752	Cabeceiras	1.184.761	1.150.027
Chapadão do Céu	1.605.997	1.031.482	Morrinhos, Goiás	1.265.306	885.284
Mineiros	1.579.188	1.153.249	Gameleira de Goiás	1.295.701	1.003.338
Caiapônia	1.563.746	1.179.242	Turvelândia	1.338.127	958.105
Ipameri	1.187.672	831.589	Itumbiara	1.181.770	801.748
Silvânia	1.308.887	980.585	Caldas Novas	1.214.344	835.221
Goiatuba	1.233.010	852.988	Portelândia	1.607.171	1.181.232
Piracanjuba	1.292.853	913.730	Montes Claros de Goiás	1.623.928	1.243.906
Bom Jesus de Goiás	1.247.767	867.745	Edéia	1.356.639	976.617
Campo Alegre de Goiás	1.168.072	842.206	Joviânia	1.280.816	900.794
Luziânia	1.187.943	1.028.826	Vicentinópolis	1.304.792	924.770
Perolândia	1.539.457	1.139.069	Uruaçu	1.500.101	1.308.106
Acreúna	1.412.260	1.032.238	Quirinópolis	1.327.295	920.044
Santa Helena de Goiás	1.356.557	976.535	Palmeiras de Goiás	1.426.736	1.046.714
Padre Bernardo	1.347.581	1.188.464	Santa Cruz de Goiás	1.263.985	907.902
Niquelândia	1.498.311	1.306.316	Bela Vista de Goiás	1.373.712	955.275
São João d'Aliação	1.362.016	1.202.899	Itaberaí	1.466.370	1.103.727
Água Fria de Goiás	1.349.399	1.190.282	Doverlândia	1.627.974	1.243.470

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 7 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri

Municípios de Goiás	Anápolis, GO	Ipameri, GO	Municípios de Goiás	Anápolis, GO	Ipameri, GO
Rio Verde, Goiás	294.903	371.708	Vianópolis	78.786	133.507
Jataí	385.221	462.491	Orizona	122.596	88.329
Cristalina	230.887	170.516	Serranópolis	440.208	517.478
Montividiu	339.278	419.781	Edealina	211.853	201.595
Paraúna	219.556	315.206	Pontalina	180.592	170.335
Catalão	268.830	61.054	Cabeceiras	286.728	366.951
Chapadão do Céu	543.367	620.637	Morrinhos, Goiás	184.083	116.099
Mineiros	490.073	567.343	Gameleira de Goiás	52.008	171.615
Caiaapônia	394.652	533.380	Turvelândia	267.615	303.417
Ipameri	207.502		Itumbiara	261.802	189.199
Silvânia	69.477	148.862	Caldas Novas	219.425	60.629
Goiatuba	229.359	171.394	Portelândia	518.055	595.325
Piracanjuba	139.681	137.254	Montes Claros de Goiás	306.433	467.881
Bom Jesus de Goiás	279.099	237.972	Edéia	188.903	232.300
Campo Alegre de Goiás	265.785	59.129	Joviânia	234.847	195.583
Luziânia	160.635	245.750	Vicentinópolis	232.282	222.025
Perolândia	450.342	527.612	Uruaçu	247.681	453.424
Acreúna	215.941	300.624	Quirinópolis	352.289	334.243
Santa Helena de Goiás	272.245	333.563	Palmeiras de Goiás	143.238	286.820
Padre Bernardo	194.901	405.388	Santa Cruz de Goiás	173.636	76.179
Niquelândia	245.891	451.634	Bela Vista de Goiás	104.194	150.738
São João d'Aliança	303.194	419.823	Itaberaí	117.143	302.674
Água Fria de Goiás	265.595	407.206	Doverlândia	458.549	597.278

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 8 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e de São Simão

Municípios de Goiás	Rio Verde, GO	São Simão, GO	Municípios de Goiás	Rio Verde, GO	São Simão, GO
Rio Verde, Goiás	0	176.473	Vianópolis	324.020	460.988
Jataí	92.470	194.644	Orizona	367.831	465.006
Cristalina	496.330	548.300	Serranópolis	147.457	245.913
Montividiu	49.634	230.709	Edealina	168.797	290.803
Paraúna	127.021	271.308	Pontalina	199.919	269.305
Catalão	407.671	365.460	Cabeceiras	570.511	707.478
Chapadão do Céu	250.616	349.072	Morrinhos, Goiás	253.424	299.889
Mineiros	197.322	295.778	Gameleira de Goiás	326.207	463.175
Caipônia	181.754	315.428	Turvelândia	75.567	181.329
Ipameri	369.460	419.579	Itumbiara	199.024	234.101
Silvânia	314.711	451.679	Caldas Novas	311.497	359.857
Goiatuba	205.672	267.593	Portelândia	225.304	323.760
Piracanjuba	272.616	354.379	Montes Claros de Goiás	235.781	416.856
Bom Jesus de Goiás	137.573	179.564	Edéia	137.928	259.934
Campo Alegre de Goiás	427.048	436.913	Joviânia	173.375	245.441
Luziânia	427.975	564.942	Vicentinópolis	157.819	266.508
Perolândia	157.591	265.228	Uruaçu	507.399	644.367
Acreúna	80.737	217.704	Quirinópolis	111.804	82.139
Santa Helena de Goiás	35.898	162.001	Palmeiras de Goiás	177.251	314.219
Padre Bernardo	486.413	623.380	Santa Cruz de Goiás	338.225	422.475
Niquelândia	537.403	674.371	Bela Vista de Goiás	282.100	419.068
São João d'Aliança	586.977	723.945	Itaberaí	291.021	427.988
Água Fria de Goiás	557.107	694.075	Doverlândia	245.982	379.656

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 9 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e de Figueirópolis

Municípios de Goiás	Porto Nacional, TO	Figueirópolis, TO	Municípios de Goiás	Porto Nacional, TO	Figueirópolis, TO
Rio Verde, Goiás	1.021.535	815.945	Vianópolis	813.449	607.859
Jataí	1.113.530	907.940	Orizona	857.259	651.669
Cristalina	880.231	679.387	Serranópolis	1.168.516	962.926
Montividiu	1.014.412	808.822	Edealina	899.546	693.956
Paraúna	894.690	689.100	Pontalina	891.193	685.604
Catalão	1.003.492	797.902	Cabeceiras	805.067	658.264
Chapadão do Céu	1.271.675	1.066.085	Morrinhos, Goiás	894.684	689.094
Mineiros	1.218.381	1.012.791	Gameleira de Goiás	776.833	571.243
Caiaopônia	996.277	790.687	Turvelândia	966.411	760.821
Ipameri	942.164	736.575	Itumbiara	972.403	766.813
Silvânia	804.139	598.549	Caldas Novas	954.087	748.497
Goiatuba	939.959	734.370	Portelândia	1.170.093	964.503
Piracanjuba	850.282	644.692	Montes Claros de Goiás	838.622	633.032
Bom Jesus de Goiás	989.700	784.110	Edéia	887.699	682.109
Campo Alegre de Goiás	1.023.111	794.858	Joviânia	945.448	739.858
Luziânia	842.588	609.134	Vicentinópolis	940.635	735.045
Perolândia	1.099.111	893.521	Uruaçu	487.408	281.818
Acreúna	950.494	744.905	Quirinópolis	1.087.788	882.198
Santa Helena de Goiás	1.007.744	802.155	Palmeiras de Goiás	806.054	600.464
Padre Bernardo	635.327	429.737	Santa Cruz de Goiás	908.298	702.708
Niquelândia	574.980	369.390	Bela Vista de Goiás	814.795	609.205
São João d'Aliança	631.278	538.828	Itaberaí	696.734	491.144
Água Fria de Goiás	690.035	500.431	Doverlândia	1.060.175	854.585

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.6.2. Distâncias do trecho ferroviário (transbordo ao porto)

As distâncias ferroviárias do transbordo ao porto foram obtidas da planilha excel “Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023.xlsx” (ANTT, 2023b), Google Earth (kmz), material disponibilizado pela Rumo no workshop de 08/03/23 (Rumo, 2023b) e dados disponibilizados no site da ANTT (2023a) referente ao trecho I (Ilhéus/BA – Caetité/BA) da ferrovia FIOL (Ferrovia de Integração Oeste-Leste).

As distâncias ferroviárias entre os transbordos e os portos estão relacionadas na Tabela 10.

Tabela 10 Distâncias ferroviárias entre os transbordos e os portos

Goiás	Vitória, ES	Santos, SP	Itaqui, MA	Ilhéus, BA
Anápolis, Goiás	1.750,57	1.541,01	2.101,50	2.120,00
Ipameri, Goiás	1.536,12	1.033,66	2.316,06	2.334,56
Rio Verde, Goiás	2.079,07	1.212,51	2.334,20	2.072,50
São Simão, Goiás	2.539,07	989,27	2.553,20	2.291,50
Porto Nacional, TO	2.606,37	2.301,01	1.245,70	1.784,00
Figueirópolis, TO	2.343,57	2.044,01	1.502,70	1.527,00

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.6.3. Distâncias do trecho rodoferroviário para o ano de 2022

Para a análise dos cenários 01 a 04 (impacto financeiro da não emissão de CO₂) foram feitas as duas considerações a seguir apresentadas:

Nos trechos rodoviários de Goiás ao porto e de Goiás ao transbordo foram consideradas as maiores distâncias para cada caminho. Estas distâncias foram obtidas em consulta às tabelas Tabela 6 (Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos), Tabela 7 (Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri) e Tabela 8 (Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e de São Simão).

Nos trechos ferroviários (Goiás ao porto e Goiás ao transbordo) foi considerada a distância real do percurso tendo como referência a Tabela 10 (Distâncias ferroviárias entre os transbordos e os portos).

O Quadro 16 resume as distâncias consideradas para a análise dos cenários 01 a 04.

Quadro 16 Distâncias (m) para análise dos cenários 01 a 04

Goiás ao porto	Goiás ao transbordo	Transbordo ao porto		Porto
1.628.974				Vitória
	543.367	Anápolis	1.751.570	
	621.637	Ipameri	1.034.660	Santos
	587.977	Rio Verde	1.213.510	
	724.945	São Simão	989.270	
1.308.106				

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.7. Custo de frete

Nos próximos subitens serão apresentadas as metodologias utilizadas para obter os custos de frete do transporte de soja e farelo de soja.

3.4.7.1. Custo do frete rodoviário

Os valores dos fretes rodoviários foram obtidos usando uma Regressão Linear (RL), expressa na Equação 1.

$$Y = \beta X + \varepsilon \quad (1)$$

Em que:

Y : Valor do frete em Reais por tonelada (R\$/t)

β : Coeficiente da regressão

X : Distância em km

ε : Erro aleatório

Para desenvolver a Eq. 1 primeiramente foram sorteadas aleatoriamente 50 distâncias (variável X) que foram utilizadas como dados de entrada no simulador da INFRA-S.A. (2022a). Os resultados obtidos dos simuladores foram os custos dos fretes em reais por toneladas (variável Y). Após usar os valores das variáveis X e Y como dados de treinamento foi obtida a equação final representada na Equação 2, conforme a seguir.

$$Y = 15,27 + 0,1490667X, \quad R^2 = 0,99 \quad (2)$$

Os custos dos fretes dos percursos rodoviários são apresentadas na Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15

Tabela 11 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Itaquí e Ilhéus

Goiás	Itaquí, MA	Ilhéus, BA	Goiás	Itaquí, MA	Ilhéus, BA
Rio Verde, Goiás	351,93	281,93	Vianópolis	321,98	234,88
Jataí	334,09	264,08	Orizona	328,51	241,94
Cristalina	350,31	218,84	Serranópolis	374,90	296,97
Montividiu	390,28	312,35	Edealina	334,81	263,73
Paraúna	382,34	304,40	Pontalina	333,57	259,07
Catalão	349,23	290,18	Cabeceiras	309,06	203,00
Chapadão do Céu	341,16	227,53	Morrinhos, Goiás	334,09	243,44
Mineiros	320,59	237,49	Gameleira de Goiás	316,52	237,57
Caiapônia	340,83	242,20	Turvelândia	344,78	257,87
Ipameri	327,47	251,14	Itumbiara	345,67	234,56
Silvânia	348,25	244,40	Caldas Novas	342,94	235,26
Goiatuba	349,85	215,78	Portelândia	375,14	308,58
Piracanjuba	322,17	219,46	Montes Claros de Goiás	325,73	280,16
Bom Jesus de Goiás	364,56	298,48	Edéia	333,04	259,51
Campo Alegre de Goiás	342,40	263,54	Joviânia	341,65	249,32
Luziânia	350,94	271,93	Vicentinópolis	340,94	266,78
Perolândia	295,42	224,47	Uruaçu	273,37	246,72
Acreúna	286,43	231,39	Quirinópolis	362,87	256,25
Santa Helena de Goiás	303,73	197,61	Palmeiras de Goiás	320,87	252,70
Padre Bernardo	305,96	214,48	Santa Cruz de Goiás	336,11	230,74
Niquelândia	351,93	281,93	Bela Vista de Goiás	322,18	247,68
São João d'Aliança	334,09	264,08	Itaberaí	304,58	251,71
Água Fria de Goiás	350,31	218,84	Doverlândia	358,75	299,70

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 12 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos

Goiás	Vitória, ES	Santos, SP	Goiás	Vitória, ES	Santos, SP
Rio Verde, Goiás	221,51	164,86	Vianópolis	207,78	159,15
Jataí	235,04	173,33	Orizona	198,75	152,42
Cristalina	181,28	157,42	Serranópolis	243,24	164,67
Montividiu	228,68	172,03	Edealina	215,00	158,35
Paraúna	229,86	173,21	Pontalina	210,34	153,69
Catalão	183,24	130,16	Cabeceiras	191,88	186,70
Chapadão do Céu	254,67	169,03	Morrinhos, Goiás	203,88	147,24
Mineiros	250,67	187,18	Gameleira de Goiás	208,42	164,83
Caiapônia	248,37	191,06	Turvelândia	214,74	158,09
Ipameri	192,31	139,23	Itumbiara	191,43	134,78
Silvânia	210,38	161,44	Caldas Novas	196,29	139,77
Goiatuba	199,07	142,42	Portelândia	254,85	191,35
Piracanjuba	207,99	151,48	Montes Claros de Goiás	257,34	200,69
Bom Jesus de Goiás	201,27	144,62	Edéia	217,50	160,85
Campo Alegre de Goiás	189,39	140,81	Joviânia	206,20	149,55
Luziânia	192,35	168,63	Vicentinópolis	209,77	153,12
Perolândia	244,75	185,07	Uruaçu	238,89	210,27
Acreúna	225,79	169,14	Quirinópolis	213,13	152,42
Santa Helena de Goiás	217,49	160,84	Palmeiras de Goiás	227,95	171,30
Padre Bernardo	216,15	192,43	Santa Cruz de Goiás	203,69	150,61
Niquelândia	238,62	210,00	Bela Vista de Goiás	220,04	157,67
São João d'Aliança	218,30	194,58	Itaberaí	233,86	179,80
Água Fria de Goiás	216,42	192,70	Doverlândia	257,95	200,63

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 13 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri

Municípios de Goiás	Anápolis, GO	Ipameri, GO	Municípios de Goiás	Anápolis, GO	Ipameri, GO
Rio Verde, Goiás	59,23	70,68	Vianópolis	27,01	35,17
Jataí	72,69	84,21	Orizona	33,54	28,44
Cristalina	49,69	40,69	Serranópolis	80,89	92,41
Montividiu	65,85	77,85	Edealina	46,85	45,32
Paraúna	48,00	62,26	Pontalina	42,19	40,66
Catalão	55,34	24,37	Cabeceiras	58,01	69,97
Chapadão do Céu	96,27	107,79	Morrinhos, Goiás	42,71	32,58
Mineiros	88,32	99,84	Gameleira de Goiás	23,02	40,85
Caiapônia	74,10	94,78	Turvelândia	55,16	60,50
Ipameri	46,20	15,27	Itumbiara	54,30	43,47
Silvânia	25,63	37,46	Caldas Novas	47,98	24,31
Goiatuba	49,46	40,82	Portelândia	92,49	104,01
Piracanjuba	36,09	35,73	Montes Claros de Goiás	60,95	85,02
Bom Jesus de Goiás	56,87	50,74	Edéia	43,43	49,90
Campo Alegre de Goiás	54,89	24,08	Joviânia	50,28	44,42
Luziânia	39,22	51,90	Vicentinópolis	49,90	48,37
Perolândia	82,40	93,92	Uruaçu	52,19	82,86
Acreúna	47,46	60,08	Quirinópolis	67,78	65,09
Santa Helena de Goiás	55,85	64,99	Palmeiras de Goiás	36,62	58,03
Padre Bernardo	44,32	75,70	Santa Cruz de Goiás	41,15	26,63
Niquelândia	51,92	82,59	Bela Vista de Goiás	30,80	37,74
São João d'Aliança	60,47	77,85	Itaberaí	32,73	60,39
Água Fria de Goiás	54,86	75,97	Doverlândia	83,62	104,30

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 14 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e São Simão

Municípios de Goiás	Rio Verde, GO	São Simão, GO	Municípios de Goiás	Rio Verde, GO	São Simão, GO
Rio Verde, Goiás	15,27	41,58	Vianópolis	63,57	83,99
Jataí	29,05	44,28	Orizona	70,10	84,59
Cristalina	89,26	97,00	Serranópolis	37,25	51,93
Montividiu	22,67	49,66	Edealina	40,43	58,62
Paraúna	34,20	55,71	Pontalina	45,07	55,41
Catalão	76,04	69,75	Cabeceiras	100,31	120,73
Chapadão do Céu	52,63	67,31	Morrinhos, Goiás	53,05	59,97
Mineiros	44,68	59,36	Gameleira de Goiás	63,90	84,31
Caiapônia	42,36	62,29	Turvelândia	26,53	42,30
Ipameri	70,34	77,82	Itumbiara	44,94	50,17
Silvânia	62,18	82,60	Caldas Novas	61,70	68,91
Goiatuba	45,93	55,16	Portelândia	48,86	63,53
Piracanjuba	55,91	68,10	Montes Claros de Goiás	50,42	77,41
Bom Jesus de Goiás	35,78	42,04	Edéia	35,83	54,02
Campo Alegre de Goiás	78,93	80,40	Joviânia	41,11	51,86
Luziânia	79,07	99,48	Vicentinópolis	38,80	55,00
Perolândia	38,76	54,81	Uruaçu	90,91	111,32
Acreúna	27,31	47,72	Quirinópolis	31,94	27,51
Santa Helena de Goiás	20,62	39,42	Palmeiras de Goiás	41,69	62,11
Padre Bernardo	87,78	108,20	Santa Cruz de Goiás	65,69	78,25
Niquelândia	95,38	115,80	Bela Vista de Goiás	57,32	77,74
São João d'Aliança	102,77	123,19	Itaberaí	58,65	79,07
Água Fria de Goiás	98,32	118,73	Doverlândia	51,94	71,86

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tabela 15 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e Figueirópolis

Municípios de Goiás	Porto Nacional, TO	Figueirópolis, TO	Municípios de Goiás	Porto Nacional, TO	Figueirópolis, TO
Rio Verde, Goiás	167,55	136,9	Vianópolis	136,53	105,88
Jataí	181,26	150,61	Orizona	143,06	112,41
Cristalina	146,48	116,54	Serranópolis	189,46	158,81
Montividiu	166,49	135,84	Edealina	149,36	118,72
Paraúna	148,64	117,99	Pontalina	148,12	117,47
Catalão	164,86	134,21	Cabeceiras	135,28	113,4
Chapadão do Céu	204,83	174,19	Morrinhos, Goiás	148,64	117,99
Mineiros	196,89	166,24	Gameleira de Goiás	131,07	100,42
Caiaapônia	163,78	133,14	Turvelândia	159,33	128,68
Ipameri	155,72	125,07	Itumbiara	160,22	129,58
Silvânia	135,14	104,49	Caldas Novas	157,49	126,85
Goiatuba	155,39	124,74	Portelândia	189,69	159,05
Piracanjuba	142,02	111,37	Montes Claros de Goiás	140,28	109,63
Bom Jesus de Goiás	162,8	132,15	Edéia	147,6	116,95
Campo Alegre de Goiás	167,78	133,76	Joviânia	156,2	125,56
Luziânia	140,87	106,07	Vicentinópolis	155,49	124,84
Perolândia	179,11	148,46	Uruaçu	87,93	57,28
Acreúna	156,96	126,31	Quirinópolis	177,42	146,78
Santa Helena de Goiás	165,49	134,84	Palmeiras de Goiás	135,43	104,78
Padre Bernardo	109,98	79,33	Santa Cruz de Goiás	150,67	120,02
Niquelândia	100,98	70,33	Bela Vista de Goiás	136,73	106,08
São João d'Aliança	109,37	95,59	Itaberaí	119,13	88,48
Água Fria de Goiás	118,13	89,87	Doverlândia	173,31	142,66

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.7.2. Custo do frete ferroviário

Os custos do frete ferroviário foram obtidos do simulador de custo de transporte INFRA-S.A. (2022a) para cada uma das distâncias. Ao inserir como dados de entrada o tipo de via, o tipo de mercadoria (GSA) e a distância, os resultados foram valores de transporte em reais por tonelada transportada (R\$/ton).

Os custos dos fretes dos percursos ferroviários são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Custos dos fretes ferroviários entre os transbordos e os portos

Goiás	Vitória, ES	Santos, SP	Itaqui, MA	Ilhéus, BA
Anápolis, Goiás	123,23	111,78	142,41	143,42
Ipameri, Goiás	111,50	84,05	154,14	155,15
Rio Verde, Goiás	141,19	93,82	155,13	140,83
São Simão, Goiás	166,33	81,64	167,10	152,80
Porto Nacional, TO	170,01	153,32	95,63	125,06
Figueirópolis, TO	155,64	139,27	109,68	111,01

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

3.4.7.3. Custo do frete rodoferroviário para o ano de 2022

Para a análise dos cenários 01 a 04 (impacto financeiro da não emissão de CO₂) foram considerados como dados de entrada no simulador de custo de transporte INFRA-S.A. (2022a) as distâncias do Quadro 16 (Distâncias (m) para análise dos cenários 01 a 04).

O Quadro 17 resume as distâncias consideradas para a análise dos cenários 01 a 04.

Quadro 17 Custos dos fretes para análise dos cenários 01 a 04

Goiás ao porto	Goiás ao transbordo	Transbordo ao porto	Porto
257,95			Vitória
	96,27	Anápolis 123,23	
	107,79	Ipameri 84,05	Santos
	102,77	Rio Verde 93,82	
	123,19	São Simão 81,64	
200,63			

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

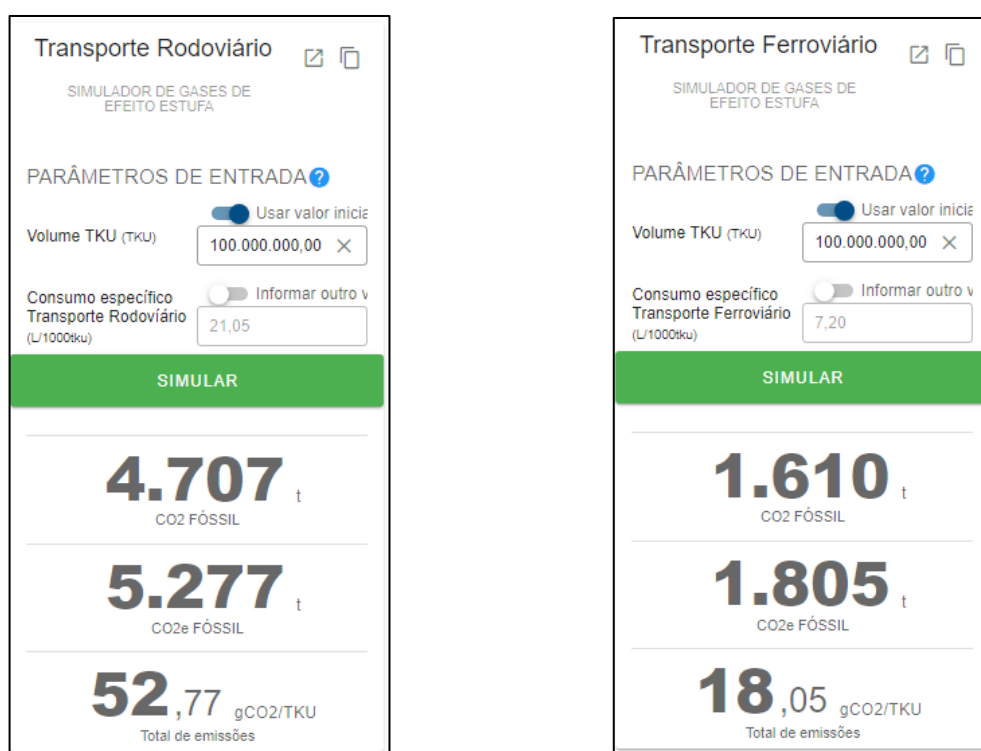
3.4.8. Emissão de CO₂

A quantidade de emissão de CO₂, em gCO₂/TKU, foi obtida do Simulador de Gases de Efeito Estufa, disponível no site da INFRA-S.A. (2022b), considerando como valores de entrada o tipo de transporte (Rodoviário ou Ferroviário) e um volume em TKU igual à 100.000.000,00. Os dados de saída após a simulação foram:

- Transporte Rodoviários 4.707t de CO₂ Fóssil, 5.277t de CO_{2e} Fóssil e 52,77gCO₂/TKU - Total de emissões, e;
- Transporte Ferroviário 1.610t de CO₂ Fóssil, 1.805t de CO_{2e} Fóssil e 18,05gCO₂/TKU - Total de emissões.

A Figura 19 representa os dados do simulador de gases de efeito estufa para os transportes rodoviários e ferroviários.

Figura 19 Dados do simulador de gases de efeito estufa para os transportes rodoviários e ferroviários



Fonte: Simulador de Gases de Efeito Estufa (INFRA-S.A., 2022c)

É possível observar na Figura 19 que o total de emissões em gCO₂/TKU corresponde à emissão de CO_{2e} fóssil em toneladas, pois para a emissão de gases de efeito estufa no transporte rodoviário o produto da multiplicação de 52,77 gCO₂ pelo volume de entrada de 100.000.000,00 TKU é igual à 5.277 t de CO_{2e} fóssil.

Na análise dos cenários e no modelo de otimização foram utilizados os dados de 52,77gCO₂/TKU para o transporte rodoviário e para o transporte Ferroviário 18,05gCO₂/TKU. Para obter o valor de emissão de CO₂ em gramas estes valores foram multiplicados pela quantidade de mercadoria transportada e pela distância efetivamente percorrida no trajeto correspondente.

Como cada rota/trajeto terá um volume e uma distância específica o resultado do cálculo da emissão de CO₂ será apresentado nos resultados.

3.5. IMPACTO FINANCEIRO DA NÃO EMISSÃO DE CO₂ E DO IMPACTO DO INÍCIO DA OPERAÇÃO DA RMC NOS CENÁRIOS 01 A 04

Segundo parâmetros da metodologia de análise de custo-benefício utilizada pela EPL (2021) no PNL 2035, cada tonelada de CO₂ não emitida corresponde a R\$ 71,43, em valores de 2020. Para fazer a conversão do valor para custo de 2020 para 2023 foram consideradas as médias do dólar de 2020 (U\$ 5,1572) e de 2023 (U\$ 5,0564). Desta forma o custo da não emissão de tonelada CO₂, em valores de 2023 é igual à R\$ 70,03.

Em (Pinto *et al.*, 2018) há um comparativo do custo de um dólar de frete com a quantidade de emissões de CO₂ para o transporte unimodal e intermodal. Quando há apenas transporte rodoviário para cada dólar gasto com frete há geração de 15,40 mg de CO₂ e no transporte rodoferroviário a emissão de 14,83mg corresponde ao mesmo gasto de um dólar. Desta forma, no transporte multimodal a emissão de CO₂ é 0,57mg menor que no transporte unimodal. Esta não emissão de CO₂ corresponde à US\$ 0,0370, R\$ 0,1871 em valores de 2023, quando comparado com a relação de custo x emissão no transporte realizado apenas em rodovias.

Nos resultados, item 4.1.6 , será avaliada a economia financeira pela NÃO Emissão de CO₂- Total de emissões (Reais) dos cenários 02, 03 e 04 em relação ao cenário 01.

No estudo do impacto financeiro da não emissão de CO₂ serão abordados quatro cenários 01 a 04, a saber:

- CENÁRIO 01 => 100% Rodoviário + 0% Rodoferroviário
- CENÁRIO 02 => 97% Rodoviário + 3% Rodoferroviário
- CENÁRIO 03 => 73% Rodoviário + 27% Rodoferroviário
- CENÁRIO 04 => 0% Rodoviário + 100% Rodoferroviário

O impacto da entrada da ferrovia Rumo Malha Central (RMC) em março de 2021 será analisado em conjunto com o impacto financeiro da não emissão de CO₂ nos cenários 01 a 04.

É importante destacar que o principal terminal de cargas ferroviária da malha RMC (Rumo Malha Central) está localizado em Rio Verde/GO e segundo dados do IBGE (SIDRA, 2023) para a safra de 2021, a produção de soja desta cidade corresponde à 15,34% da produção do estado de Goiás e ainda é a terceira maior produtora de soja da região sul do estado de Goiás. No apêndice B constam algumas imagens que detalham a estrutura de operação do terminal.

3.6. MODELAGEM MATEMÁTICA DO TRANSPORTE

A modelagem matemática foi elaborada para o transporte de soja de Goiás para os portos que recepcionam carga para exportação, considerando as rotas rodoviárias e ferroviária dos serviços disponíveis e de alguns casos hipotéticos. O modelo irá incluir as variáveis:

- Oferta;
- Distância;
- Custo de frete;
- Emissão de CO₂.

O Quadro 18 foi adaptado de Teixeira *et al.*, (2018), que aborda o comparativo entre os modais de transporte em que é apresentado: unidade equivalentes, consumo médio de combustível, emissão de CO₂ e custo médio de transporte e carga geral por 1,000 km.

Quadro 18 Comparativo entre modais de transporte

Indicador	Modal de transporte		
	Cabotagem 	Ferroviário 	Rodoviário 
Unidades equivalentes	Embarcação de 6.000 t	2,9 comboios Hopper, 86 vagões de 70 t	172 carretas de 35 t
Consumo médio de combustível (tonelada por 1.000 km)	4,1 litros	5,7 litros	15,4 litros
Emissão de gás carbônico (gCO ₂ /TKU)	20,0	23,3	101,2
Custo médio de transporte, carga geral por 1.000 km (R\$/t)	R\$ 50,74	R\$ 67,54	R\$ 239,74

Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.* (2018).

3.6.1. Matriz origem/destino

No planejamento de transporte e logística, uma matriz Origem-Destino (O/D) é uma tabela que mostra o fluxo de mercadorias ou pessoas entre diferentes origens e destinos. Ela pode ser usada para rastrear e analisar o movimento de mercadorias ou pessoas e para planejar e projetar infraestrutura e serviços de transporte.

No caso do transporte de soja, uma matriz O/D poderia ser utilizada para mostrar o fluxo de soja entre diferentes regiões, estados ou cidades de origem e destino, como portos, usinas de processamento ou mercados. A matriz incluiria dados sobre o volume de soja transportado entre diferentes origens e destinos, bem como dados sobre os modos de transporte e rotas utilizadas.

Uma matriz O/D pode ser usada para identificar os principais corredores e gargalos de transporte e para avaliar o impacto de diferentes projetos ou políticas de transporte no fluxo de mercadorias. Também pode ser usado para modelar e prever a demanda futura de transporte e planejar a expansão da infraestrutura e serviços de transporte.

É importante observar que os dados para uma matriz O/D podem vir de várias fontes, como agências governamentais, empresas de transporte, associações industriais e estudos de pesquisa.

De acordo com Martins e Caixeta Filho (1998), uma matriz de origem destino (Tabela 17) possui as origens (O) nas linhas e os destinos (D) nas colunas, portanto as células T_{ij} representam o fluxo do transporte entre a origem i e o destino j , as células o_i e d_j representam a oferta da origem i e a demanda do destino j respectivamente.

Tabela 17 Modelo genérico de uma matriz origem destino

Origem\Destino	D_1	D_2	D_3	...	D_m	E
O_1	$T_{1,1}$	$T_{1,2}$	$T_{1,3}$	...	$T_{1,m}$	o_1
O_2	$T_{2,1}$	$T_{2,2}$	$T_{2,3}$	...	$T_{2,m}$	o_2
O_3	$T_{3,1}$	$T_{3,2}$	$T_{3,3}$	...	$T_{3,m}$	o_3
...	...	...	...	...	...	...
O_n	$T_{n,1}$	$T_{n,2}$	$T_{n,3}$	...	$T_{n,m}$	o_n
E	d_1	d_2	d_3	...	d_m	V

Fonte: Adaptado de MARTINS; CAIXETA FILHO (1998)

A matriz origem destino possui a seguinte formulação matemática, descritas pelas equações 3-5:

$$\text{Minimiza } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} T_{ij} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m T_{ij} \leq o_i, \text{ para todo } i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} \leq d_j, \text{ para todo } j \quad (5)$$

Onde:

Z : Valor da função objetivo

C_{ij} : Custo total do transporte (Reais) entre a origem i e o destino j .

T_{ij} : Quantidade transportada (t) entre a origem i e o destino j

o_i : Oferta (t) da origem i .

d_j : Demanda (t) do destino j .

3.6.2. Modelo de otimização adaptado para o problema de transbordo

O modelo será rodoferroviário. As principais vantagens da intermodalidade estão no melhor aproveitamento da infraestrutura das redes, na redução de custos e do consumo energético e no tráfego. Com o objetivo de obter as vantagens expostas acima para o escoamento da soja, o modelo matemático para o transporte intermodal foi formulado utilizando as considerações expostas a seguir.

- Locais de origem: 46 municípios do estado de Goiás, que juntos representam pouco mais de 80% do volume de soja e farelo de soja destinados para a exportação;
- Locais de destino: portos de Itaquí/MA, Ilhéus/BA, Vitória/ES e Santos/SP;
- Locais de transbordo: Anápolis/GO, Ipameri/GO, Rio Verde/GO, São Simão/GO, Figueirópolis/TO e Porto Nacional/TO;
- A capacidade de produção e de fornecimento de locais de origem é infinita, uma vez que a demanda nos locais de destino é suficientemente inferior a essa capacidade.

Uma matriz OD com pontos de transbordos, ligações entre modais diferentes, pode ser obtida através da solução do seguinte modelo, para N origens, M destinos e P pontos de transbordos para os modais, tendo como base o modelo proposto por De Oliveira *et al.* (2013):

$$\text{Minimizar } Z_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{ij} T_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^P C_{ik} T_{ik} + \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^M C_{kj} T_{kj} \quad (6)$$

Adicionalmente ao problema, também foi desenvolvida uma segunda função objetivo a respeito da emissão de CO₂, semelhante a função objetivo da equação 1 e sujeito as restrições representadas pelas Equações 8 a 10:

$$\text{Minimizar } Z_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E_{ij} T_{ij} S_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^P E_{ik} T_{ik} S_{ik} + \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^M E_{kj} T_{kj} S_{kj} \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^M T_{ij} + \sum_{k=1}^P T_{ik} \leq o_i, \forall i > 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N T_{ij} + \sum_{k=1}^P T_{kj} = d_j, \forall j > 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N T_{ik} = \sum_{j=1}^M T_{kj}, \forall k > 0 \quad (10)$$

Parâmetros do modelo:

C_{ij} : Custo do transporte entre a origem i e o destino j , em R\$/t.

C_{ik} : Custo do transporte entre a origem i e o ponto de transbordo k , em R\$/t.

C_{kj} : Custo do transporte entre o ponto de transbordo k e o destino j , em R\$/t.

o_i : Oferta da origem i , $1 \leq i \leq 46$, em toneladas. Foram considerados os municípios que justos representam pouco mais 80% da produção média, de soja e farelo de soja, dos anos de 2017 a 2021 do estado de Goiás.

d_j : Demanda do destino j , $1 \leq j \leq 4$, em toneladas. Os portos escolhidos foram Itaquí/MA, Ilhéus/BA, Vitória/ES e Santos/SP.

E_{ij} : Emissão de CO₂ entre a origem i e o destino j , em gCO₂/tkm.

E_{ik} : Emissão de CO₂ entre a origem i e o ponto de transbordo k em gCO₂/tkm.

E_{kj} : Emissão de CO₂ entre o ponto de transbordo k e o destino j em gCO₂/tkm.

S_{ij} : Distância percorrida entre a origem i e o destino j , em km.

S_{ik} : Distância percorrida entre a origem i e o ponto de transbordo k , em km.

S_{kj} : Distância percorrida entre o ponto de transbordo k e o destino j , em km.

Os transbordos escolhidos foram as estações de Anápolis/GO, Ipameri/GO, Rio Verde/GO, São Simão/GO, Figueirópolis/TO e Porto Nacional/TO.

Variáveis:

T_{ij} : Volume transportado entre a origem i e o destino j , em toneladas.

T_{ik} : Volume transportado entre a origem i e o ponto de transbordo k , $1 \leq k \leq 4$, em toneladas.

T_{kj} : Volume transportado entre o ponto de transbordo k e o destino j , em toneladas.

Z_1 : Valor total do frete, em reais.

Z_2 : Emissão total de CO_2 , em gramas

3.6.3. Solver *Gurobi*

Para implementar o modelo e obter os resultados usou-se a ferramenta de pesquisa operacional *Gurobi Optimizer*, desenvolvida pela *Gurobi Optimization, LLC*. Esta ferramenta disponibiliza algoritmos determinísticos para a resolução de problemas de Programação Linear e Programação Linear Inteira.

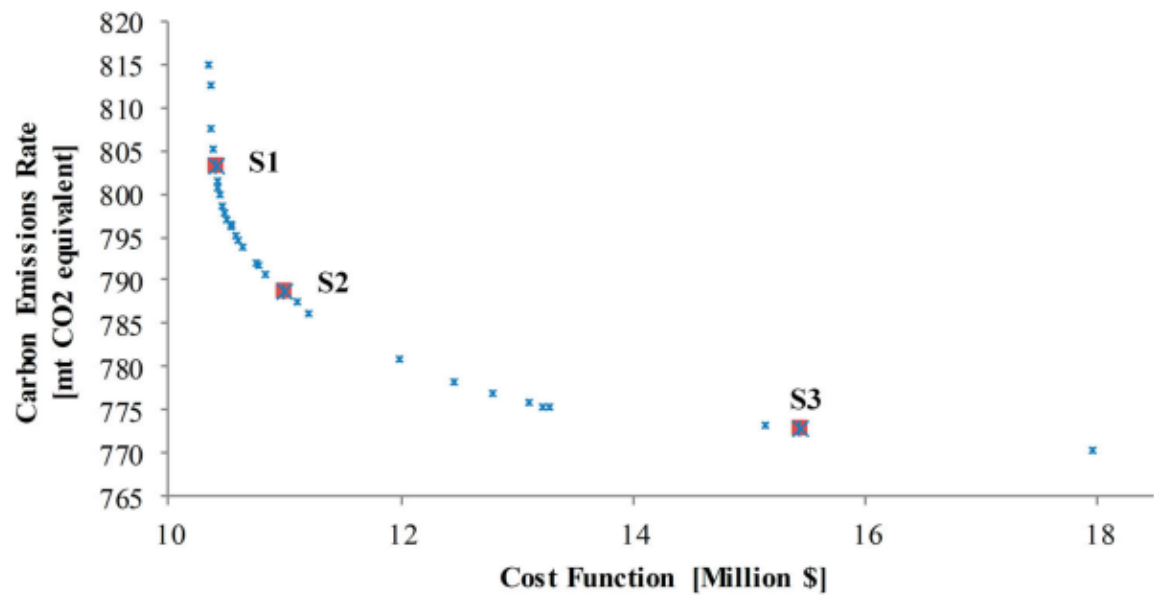
3.6.4. Frente de Pareto

As soluções são obtidas pelo método ε -restrição, tendo como referência o trabalho de Mesquita-Cunha; Figueira; Barbosa-Póvoa (2023) após o qual os tomadores de decisão podem usar a fronteira de Pareto para tomar decisões e modificar estratégias ao planejar a organização de transporte multimodal. Os resultados mostram que o modelo pode efetivamente descrever a rede multimodal de transporte e a frente ótima de Pareto, que fornece uma série de vias e modos de transporte.

Segundo Péra (2022) “o ótimo de Pareto fornece um conjunto de soluções de forma que não seja possível melhorar uma função objetivo sem deteriorar o resultado de pelo menos uma outra função objetivo”.

Na pesquisa “*A bi-objective model for design and analysis of sustainable intermodal transportation systems: a case study of Turkey*” (Resat; Turkay, 2019), realizada em 2019, obteve uma frente Pareto com as mesmas características obtidas neste estudo, conforme pode ser visto na Figura 20 Frente de Pareto do transporte intermodal, um estudo de caso na *Turkey*.

Figura 20 Frente de Pareto do transporte intermodal, um estudo de caso na *Turkey*



Fonte: Extraída de Giray & Resat (2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DO IMPACTO FINANCEIRO DA NÃO EMISSÃO DE CO₂ E DO IMPACTO DO INÍCIO DA OPERAÇÃO DA RMC NOS CENÁRIOS 01 A 04

4.1.1. Referências aos dados de entrada para análise dos cenários 01 a 04

Os dados de entrada necessários para a análise dos cenários 01 a 04 estão definidos nas tabelas, nos quadros e demais informações a seguir relacionados.

Volume de oferta: Conforme exposto no item 3.4.2 (Exportação de soja e farelo de soja) nos cenários de 01 a 04 (2022) será utilizado o volume igual a 11.391.128 t, que corresponde ao volume total ofertado pelas cidades relacionadas na Tabela 4 que serão representadas pela unidade federativa de Goiás.

Capacidade dos transbordos: No item 3.4.4.2 (Dados gerais dos terminais/estações de transbordo) é informado que o impacto do início da operação da RMC será avaliado considerando, no cenário 02, o volume transportado em 2017 pelos terminais de Anápolis e Ipameri (obtido da ANTT, 2023b) e para o cenário 03 o volume transportado pelas quatro estações em 2022, conforme exposto no Quadro 8 Resumo das capacidades dos transbordos (em toneladas).

Capacidade dos portos: Quadro 15 Resumo das capacidades dos portos (em toneladas) – 92% Porto de Santos/SP e 8% Porto de Vitória/ES.

Distâncias: Quadro 16 Distâncias (m) para análise dos cenários 01 a 04

Custos de frete: Quadro 17 Custos dos fretes para análise dos cenários 01 a 04

Emissão de CO₂: No item 3.4.8 é informado que:

Serão utilizados os dados de 52,77gCO₂/TKU para o transporte rodoviário e para o transporte Ferroviário 18,05gCO₂/TKU.

Para obter o valor de emissão de CO₂ em gramas estes valores foram multiplicados pela quantidade de mercadoria transportada e pela distância efetivamente percorrida no trajeto correspondente.

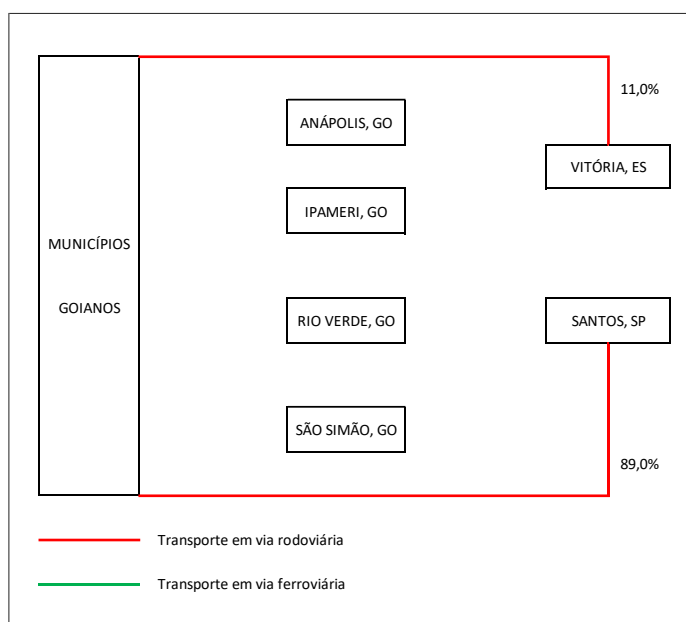
Preço da não emissão de CO₂: Como exposto no item 3.5 o custo da não emissão de tonelada CO₂, em valores de 2023 é igual à R\$ 70,03 e a economia financeira pela NÃO Emissão de CO₂ - Total de emissões (Reais) dos cenários 02, 03 e 04 em relação ao cenário 01.

4.1.2. Cenário 01 - Transporte 100% rodoviário

Este cenário foi elaborado para ser a base referencial da análise da economia de custo de frete, emissão de CO₂e, NÃO emissão de CO₂ e economia frete + NÃO emissão, pois neste cenário não há transporte rodoferroviário e nos demais cenários (02 a 04) o percentual deste tipo de transporte aumenta progressivamente a cada cenário: 3% no cenário 02, 27% no cenário 03 e 100% no cenário 04.

Ao considerar que toda a mercadoria com destino à exportação é transportada dos municípios goianos diretamente para os portos a rota será 100% rodoviária. As rotas são distribuídas da seguinte forma: 8,0% para o porto de Vitória/ES e 92% para Santos/SP, conforme representação gráfica do resultado do cenário 01 Figura 21.

Figura 21 Representação gráfica do resultado do cenário 01



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

O Quadro 19 apresenta o resultado dos dados da rota do cenário 01.

Quadro 19 Resultados da rota do cenário 01

Rota	Tipo de Transporte	%	Volume Transportado (t)	Frete (Milhões de Reais)	Emissão de CO ₂ e Fóssil (t)	Emissão de CO ₂ Fóssil (t)
Goiás - Vitória	Rodoviário	11%	1.253.024	323	107.645	96.018
Goiás - Anápolis - Vitória	Rodoferroviário					
Goiás - Ipameri - Santos	Rodoferroviário					
Goiás - Rio Verde Santos	Rodoferroviário					
Goiás - São Simão - Santos	Rodoferroviário					
Goiás - Santos	Rodoviário	89%	10.138.104	2.034	699.821	624.229
			11.391.128	2.357	807.466	720.247

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

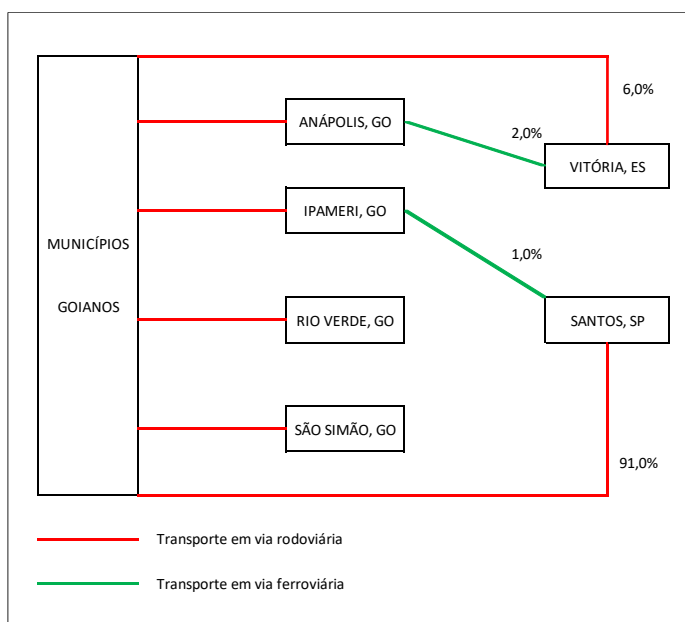
Tendo como referência os dados apresentados no Quadro 19 é possível aferir que: 11.391.128 toneladas de soja e de farelo de soja são transportadas de Goiás com destino à exportação pelos portos de Vitória/ES e Santos/SP; o valor total frete corresponde à 2.357 milhões de Reais; a emissão de CO₂e fóssil corresponde à 807.466 toneladas; e há emissão de 720.247 toneladas de CO₂.

4.1.3. Cenário 02 - Transporte 97% Rodoviário e 3% rodoferroviário

Este cenário foi elaborado para ser a base referencial da análise do impacto do início da operação da RMC, pois em 2017 a RMC (Rumo Malha Central) ainda não estava em operação.

Na elaboração deste cenário foi considerado como premissa os volumes transportados nos transbordos de Goiás que estavam em operação no ano de 2017 (terminais de Anápolis - 215.035t e Ipameri - 150.747t) e a capacidade percentual dos portos de Porto de Santos/SP (92%) e Porto de Vitória/ES (8%). Desta forma, neste cenário, 97% da mercadoria com destino à exportação é transportada dos municípios goianos diretamente para os portos (transporte rodoviário) e 3% do volume é entregue utilizando a rota rodoferroviária, conforme representação gráfica apresentada na Figura 22.

Figura 22 Representação gráfica do resultado do cenário 02



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

O Quadro 20 apresenta o resultado dos dados da rota do cenário 02.

Quadro 20 Resultados dos dados da rota do cenário 02

Rota	Tipo de Transporte	%	Volume Transportado (t)	Frete (Milhões de Reais)	Emissão de CO _{2e} Fóssil (t)	Emissão de CO ₂ Fóssil (t)
Goiás - Vitória	Rodoviário	6%	696.255	180	59.814	53.353
Goiás - Anápolis - Vitória	Rodoferroviário	2%	215.035	47	12.960	11.560
Goiás - Ipameri - Santos	Rodoferroviário	1%	150.747	29	7.750	6.913
Goiás - Rio Verde Santos	Rodoferroviário					
Goiás - São Simão - Santos	Rodoferroviário					
Goiás - Santos	Rodoviário	91%	10.329.091	2.072	713.004	635.988
			11.391.128	2.328	793.528	707.815

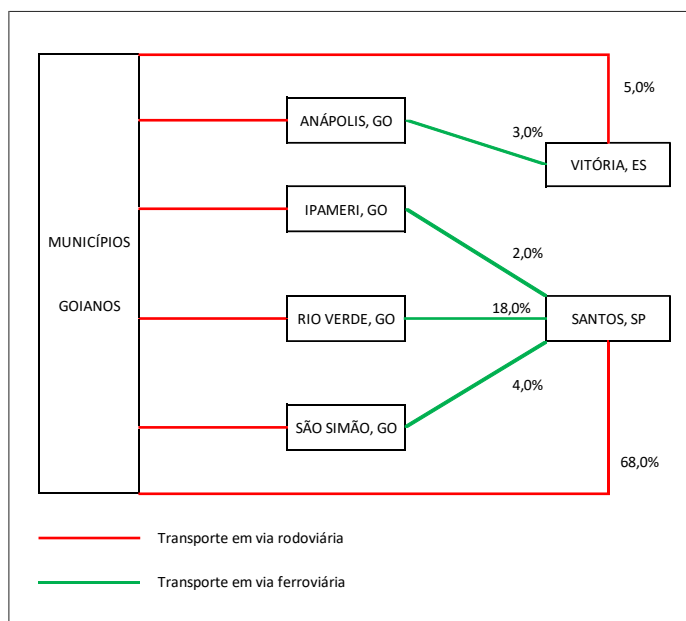
Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tendo como referência os dados apresentados no Quadro 20 é possível aferir que: 11.391.128 toneladas de soja e de farelo de soja são transportadas de Goiás com destino à exportação pelos portos de Vitória/ES e Santos/SP; o valor total frete corresponde à 2.328 milhões de Reais; a emissão de CO_{2e} fóssil corresponde à 793.528 toneladas; e há emissão de 707.815 toneladas de CO₂.

4.1.4. Cenário 03 - Transporte 73% Rodoviário e 27% rodoferroviário

Este cenário foi elaborado para considerar o início da operação da malha RMC (concessionada para a Rumo) que foi inaugurada em março de 2021 juntamente com o transbordo de São Simão/GO. O terminal de Rio Verde/GO foi ativado em junho de 2021. No ano de 2022 os dois transbordos tiveram movimentação de soja e farelo de soja em todos os meses.

Na elaboração deste cenário foi considerado como premissa os volumes transportados nos transbordos de Goiás que estavam em operação no ano de 2022 (terminais de Anápolis - 330.886t, Ipameri - 199.812t, São Simão - 503.441t e Rio Verde - 2.037.180) e a capacidade percentual dos portos de Porto de Santos/SP (92%) e Porto de Vitória/ES (8%). Desta forma, neste cenário, 73% da mercadoria com destino à exportação é transportada dos municípios goianos diretamente para os portos (transporte rodoviário) e 27% do volume é entregue utilizando a rota rodoferroviária, conforme representação gráfica apresentada na Figura 23.

Figura 23 Representação gráfica do resultado do cenário 03

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

O Quadro 21 apresenta o resultado dos dados da rota do cenário 03.

Quadro 21 Resultados da rota do cenário 03

Rota	Tipo de Transporte	%	Volume Transportado (t)	Frete (Milhões de Reais)	Emissão de CO _{2e} Fóssil (t)	Emissão de CO ₂ Fóssil (t)
Goiás - Vitória	Rodoviário	5%	580.404	150	49.861	44.476
Goiás - Anápolis - Vitória	Rodoferroviário	3%	330.886	73	19.943	17.789
Goiás - Ipameri - Santos	Rodoferroviário	2%	199.812	38	10.272	9.162
Goiás - Rio Verde Santos	Rodoferroviário	18%	2.037.180	400	107.687	96.054
Goiás - São Simão - Santos	Rodoferroviário	4%	503.441	103	28.222	25.174
Goiás - Santos	Rodoviário	68%	7.739.405	1.553	534.241	476.535
			11.391.128	2.317	750.227	669.189

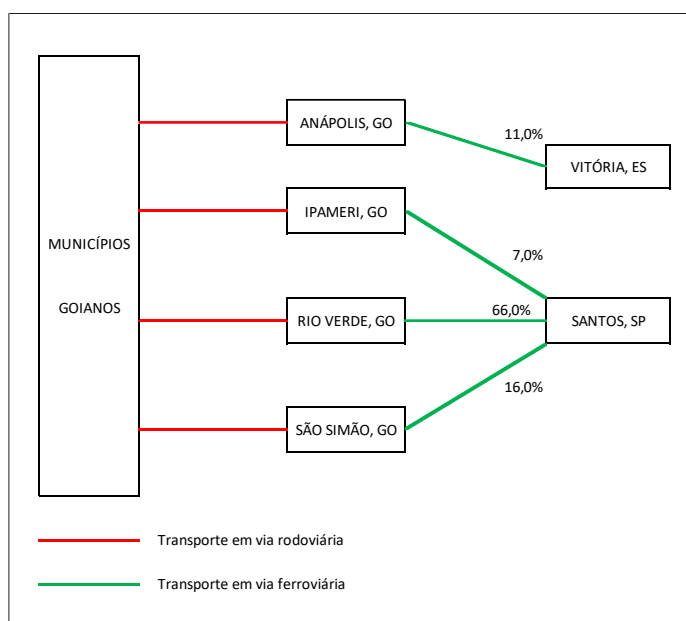
Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tendo como referência os dados apresentados no Quadro 21 é possível aferir que: 11.391.128 toneladas de soja e de farelo de soja são transportadas de Goiás com destino à exportação pelos portos de Vitória/ES e Santos/SP; o valor total frete corresponde à 2.317 milhões de Reais; a emissão de CO_{2e} fóssil corresponde à 750.227 toneladas; e há emissão de 669.189 toneladas de CO₂.

4.1.5. Cenário 04 - Transporte 100% rodoferroviário

Neste cenário foi considerado que todo o transporte de mercadoria com origem nos municípios goianos com destino à exportação será feito utilizando a via rodoviária da origem aos transbordos e dos terminais ferroviários aos portos via ferrovia. Os percentuais de volume em relação às rotas são distribuídos da seguinte forma: para o porto de Vitória/ES 11% da carga utilizará o transbordo de Anápolis/GO e para o porto de Santos/SP 7% utilizam o transbordo de Ipameri/GO, 66% Rio Verde/GO e 16% São Simão/GO, conforme representação gráfica do resultado do cenário 04 na Figura 24.

Figura 24 Representação gráfica do resultado do cenário 04



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

O Quadro 22 apresenta o resultado dos dados da rota do cenário 04.

Quadro 22 Resultados da rota do cenário 04

Rota	Tipo de Transporte	%	Volume Transportado (t)	Frete (Milhões de Reais)	Emissão de CO _{2e} Fóssil (t)	Emissão de CO ₂ Fóssil (t)
Goiás - Vitória	Rodoviário					
Goiás - Anápolis - Vitória	Rodoferroviário	11%	1.253.024	275	75.521	67.363
Goiás - Ipameri - Santos	Rodoferroviário	7%	797.379	153	40.992	36.564
Goiás - Rio Verde Santos	Rodoferroviário	66%	7.518.144	1.478	397.413	354.484
Goiás - São Simão - Santos	Rodoferroviário	16%	1.822.580	373	102.172	91.135
Goiás - Santos	Rodoviário					
			11.391.127	2.279	616.099	549.546

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Tendo como referência os dados apresentados no Quadro 22 é possível aferir que: 11.391.128 toneladas de soja e de farelo de soja são transportadas de Goiás com destino à exportação pelos portos de Vitória/ES e Santos/SP; o valor total frete corresponde à 2.279 milhões de Reais; a emissão de CO_{2e} fóssil corresponde à 616.099 toneladas; e há emissão de 549.546 toneladas de CO₂.

4.1.6. Resumo dos resultados dos cenários 01 a 04

O Quadro 23 expõe os valores totais dos cenários 01 a 04, conforme consta a seguir.

Quadro 23 Totais dos cenários 01 a 04

Cenários	% Transporte Rodoviário	% Transporte Rodoferroviário	Frete (Milhões de Reais)	Emissão de CO _{2e} Fóssil Total de Emissões (t)	Emissão de CO ₂ Fóssil (t)
Cenário 01	100%	0%	2.357	807.466	720.247
Cenário 02	97%	3%	2.328	793.528	707.815
Cenário 03	73%	27%	2.317	750.227	669.189
Cenário 04	0%	100%	2.279	616.099	549.546

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Os valores referentes à economia de custo de frete, emissão de CO_{2e}, NÃO emissão de CO_{2e} e economia frete + NÃO emissão estão expostos no Quadro 24 apresentado a seguir.

Quadro 24 Economia dos cenários 02, 03 e 04 em relação ao cenário 01

Cenários	Transporte		Economia referente à			
	Rodo	Rodo ferrov.	Custo de Frete (Milhões Reais)	Emissão de CO _{2e} (toneladas)	NÃO Emissão de CO ₂ (Milhões Reais)	Economia frete+ NÃO emissão (Milhões de reais)
Cenário 01	100%	0%	-	-	-	
Cenário 02	97%	3%	29	13.937	1	30
Cenário 03	73%	27%	40	57.239	4	44
Cenário 04	0%	100%	78	191.367	13	91

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Ao analisar os dados do Quadro 24 é possível aferir que:

- No cenário 02 há 13.937 toneladas a menos de emissão de CO_{2e} quando comparado ao cenário 01 e esta não emissão de CO_{2e} gera uma receita de 1 milhão de reais. A economia de 29 milhões de reais referente ao frete somada ao lucro da não emissão de CO_{2e} possibilita um ganho total de 30 milhões de reais.

- Ao comparar o cenário 03 com o cenário 01 há uma economia de 40 milhões de reais referente ao frete e de 4 milhões de reais referente à não emissão 57.239 toneladas de CO_{2e}. Neste cenário a malha Rumo Malha Central (RMC) começou as suas atividades em março de 2021 utilizando primeiramente o terminal de São Simão e em junho de 2021 o Terminal de Rio Verde (TRV) iniciou a operação dos processos de transbordo de carga dos caminhões para os vagões. Do cenário 02 (estações de Anápolis e Ipameri) há emissão de 793.528 toneladas de CO_{2e} e o valor do frete é igual à 2.328 milhões de reais (Quadro 23). Desta forma, o início das atividades da RMC gerou uma economia de 11 milhões de reais referente ao frete e de 3 milhões de reais referente à economia de 38.625 toneladas de CO_{2e}, perfazendo um valor financeiro de economia de 14 milhões de reais.
- A economia de 13 milhões de reais referente à não emissão de 191.367 toneladas de CO_{2e} do cenário 01 para o cenário 04 somado à economia de 78 milhões de reais de frete gera um retorno financeiro total de 91 milhões de reais.

Ao analisar os cenários de 01 a 04 é possível perceber que à medida que o percentual de participação do transporte ferroviário vai aumentando a emissão de CO_{2e} e o custo do frete vão diminuindo.

4.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO TRANSPORTE RODOFERROVIÁRIO OTIMIZADO PARA 2035

A modelagem da otimização do transporte rodoferroviário em 20035 foi elaborada tendo como referência os dados de entrada definidos nas tabelas, nos quadros e demais informações a seguir relacionados.

Oferta: Tabela 4 Volumes médio de soja ofertada nos 46 municípios nos anos 2022 e 2035.

Capacidade dos transbordos: Dados de 2035 no Quadro 8 Resumo das capacidades dos transbordos (em toneladas).

Capacidade dos portos: Quadro 15 Resumo das capacidades dos portos (em toneladas)

Distância: Tabela 5 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Itaquí e Ilhéus; Tabela 6 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos; Tabela 7 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri; Tabela 8 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e de São Simão; Tabela 9 Distâncias rodoviárias entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e de Figueirópolis; e Tabela 10 Distâncias ferroviárias entre os transbordos e os portos.

Custo de frete: Tabela 11 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Itaquí e Ilhéus; Tabela 12 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os portos de Vitória e de Santos; Tabela 13 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Anápolis e Ipameri; Tabela 14 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Rio Verde e São Simão; Tabela 15 Custos dos fretes rodoviários entre os municípios goianos e os transbordos de Porto Nacional e Figueirópolis; e Tabela 16 Custos dos fretes ferroviários entre os transbordos e os portos

Emissão de CO₂: No item 3.4.8 é informado que:

- Serão utilizados os dados de 52,77gCO₂/TKU para o transporte rodoviário e para o transporte Ferroviário 18,05gCO₂/TKU.
- Para obter o valor de emissão de CO₂ em gramas estes valores foram multiplicados pela quantidade de mercadoria transportada e pela distância efetivamente percorrida no trajeto correspondente.

Resumidamente foram feitas as seguintes considerações:

- Oferta de soja e farelo de soja de 46 municípios goianos;

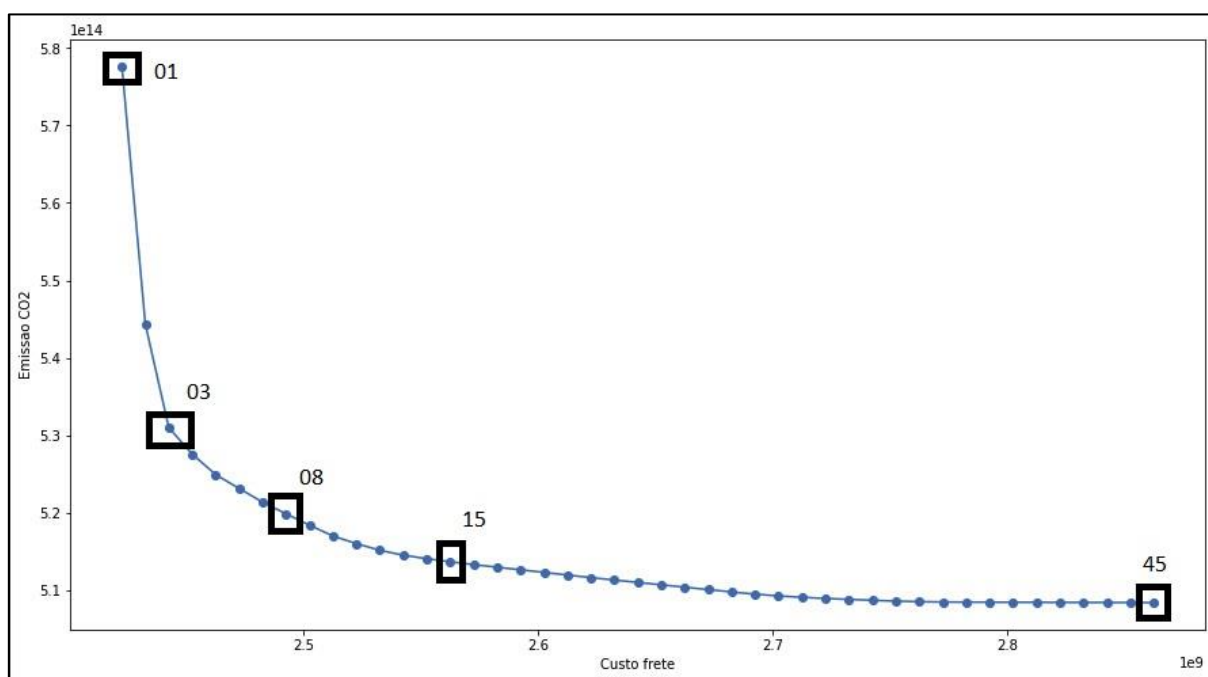
- Seis pontos de transbordos: Anápolis/GO, Ipameri/GO, São Simão/GO, Rio Verde/GO, Porto Nacional/TO e Figueirópolis/TO; e
- Quatro portos: Santos/SP, Vitória/ES, Itaquí/MA e Ilhéus/BA.

Segundo a metodologia exposta no item 3.6.4 (Frente de Pareto) na Figura 20 (Frente de Pareto do transporte intermodal, um estudo de caso na *Turkey*) é apresentada a frente de Pareto que foi utilizada como referência na modelagem da otimização de 2035.

A Figura 25 representa o gráfico dos resultados da otimização, destacando as amostras que serão analisadas. A saber:

- Amostra 01 - Menor frete e maior emissão de CO₂;
- Amostra 03 - Baixo valor de frete;
- Amostra 08 - Ponto intermediário de frete e de emissão de CO₂;
- Amostra 15 - Baixo valor de emissão de CO₂;
- Amostra 45 - Menor emissão de CO₂ e maior frete;

Figura 25 Gráfico dos resultados da otimização



Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel O código em python gera a frente de pareto

4.2.1. Resultados da otimização de 2035 - Amostra A01 Menor frete

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 01 estão relacionados no apêndice A no Quadro 33, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 34, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

O Quadro 25 apresenta o resumo dos percentuais e dos totais de volume, frete e emissão de CO₂ da amostra A01.

Quadro 25 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO₂ - Amostra A01

AMOSTRA 01	ROTA	% TRANSBORDO	% PORTO	Totais de Volume, Frete e Emissão de CO ₂
Rodoviário = 66%	Goiás - ILHÉUS	2%	ILHÉUS	Volume 10.109.163 t
	Goiás - VITÓRIA	6%	VITÓRIA	Frete R\$ 1.651.150.873,03
	Goiás - SANTOS	58%	SANTOS	Emissão de CO ₂ 529.865.456 t
Rodoferroviário = 34%	Goiás - Figueirópolis - SÃO LUIZ	9%	Figueirópolis	Volume 5.095.859 t Frete R\$ 771.391.206,25 Emissão de CO ₂ 47.797.043 t
	Goiás - Anápolis - SÃO LUIZ	3%	Anápolis	
	Goiás - Rio Verde - ILHÉUS	7%	Rio Verde	
	Goiás - Ipameri - SANTOS	2%	Ipameri	
	Goiás - Rio Verde - SANTOS	9%	Rio Verde	
PORTOS			12% SÃO LUIZ	Volume 15.205.022 t
			9% ILHÉUS	Frete R\$ 2.422.542.079,28
			6% VITÓRIA	Emissão de CO ₂ 577.662.499 t
			73% SANTOS	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Na amostra 01 os portos são utilizados com a mesma capacidade estabelecida como dado de entrada (São Luiz 12%, Ilhéus 9%, Vitória 6% e Santos 73%). Dos 6 transbordos propostos, apenas 5 foram utilizados (Figueirópolis 9%, Anápolis 3%, Ipameri 2%, Rio Verde 16% e São Simão 4%). A função Objetivo exibe 2,42E+09 para o frete total e 5,78E+14 para a emissão total. O percurso dos municípios goianos (rodoviário) teve uma participação de 66%, enquanto o rodoferroviário 34%.

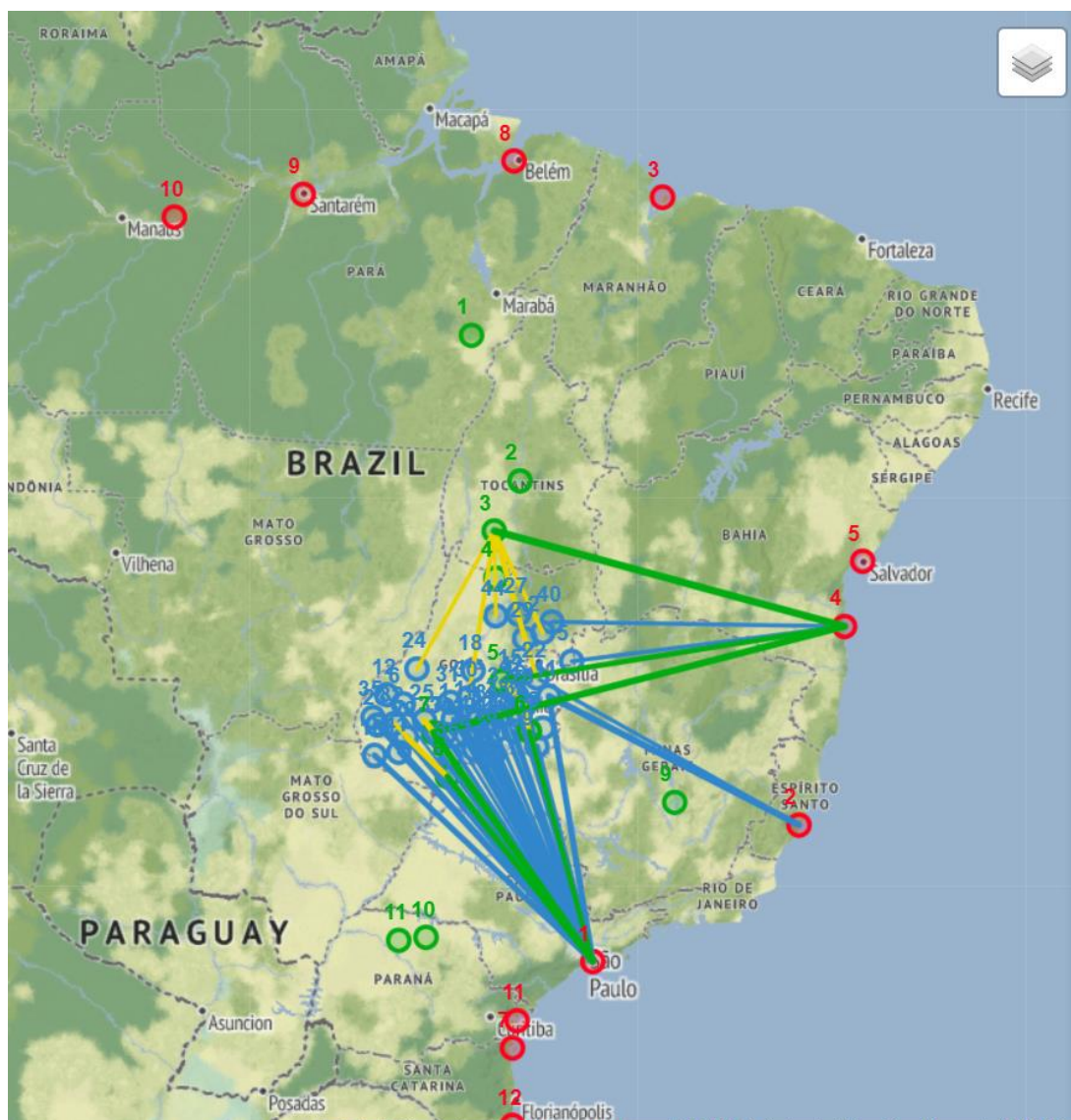
Nesta amostra 58% da mercadoria foi transportada dos municípios goianos diretamente para o porto de Santos, 6% para o porto de Vitória e 2% para o porto de Ilhéus. No transporte rodoferroviário os percursos com maior participação foram de Goiás - Rio Verde/GO - Santos/SP e de Goiás - Figueirópolis/TO - São Luiz/MA, ambos com participação igual à 6%.

No trecho ferroviário de Rio Verde/GO a Santos/SP o custo do frete é em média igual à 93,82 reais por tonelada e o da rota Figueirópolis/TO à São Luiz/MA é igual à 109,68 reais por tonelada. O custo do frete na rota Figueirópolis/TO à São Luiz/MA é maior que a do trecho de Rio Verde/GO a Santos/SP, pois enquanto naquela rota a mercadoria percorre 1.502,70 km do transbordo localizado ao norte de Goiás até o porto de São Luiz/MA localizado na região norte brasileira neste trecho a mercadoria percorre 1.212,51 km do transbordo de Rio Verde/GO a Santos/SP.

Na Figura 26 é apresentado a fotografia do mapa interativo do roteamento da amostra 01 que foi obtido do código em Python que está disponível no drive do link a seguir. Para acessar o mapa na internet o arquivo deve ser baixado no computador antes de acessar o mapa.

https://drive.google.com/file/d/1c7UpGtmtho01Xin6oBjq25UQ4xKz4Aqn/view?usp=drive_link

Figura 26 Mapa interativo do roteamento da amostra 01 (Menor frete)



- | | |
|--------------|----------------------------|
| ● Municípios | — Municípios ao Porto |
| ● Transbordo | — Municípios ao Transbordo |
| ● Porto | — Transbordo ao Porto |



Fonte: autora, imagem obtida com código em Python

4.2.2. Resultados da otimização de 2035 - Amostra A03 Baixo valor de frete

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 03 estão relacionados no apêndice A no Quadro 35, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 36, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

O Quadro 26 apresenta o resumo dos percentuais e dos totais de volume, frete e emissão de CO₂ da amostra A03.

Quadro 26 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO₂ - Amostra A03

AMOSTRA 03	ROTA	% TRANSBORDO	% PORTO	Totais de Volume, Frete e Emissão de CO ₂
Rodoviário = 55%	Goiás - VITÓRIA	1%	VITÓRIA	Volume 8.345.732 t
	Goiás - SANTOS	54%	SANTOS	Frete R\$ 1.314.338.595,52 Emissão de CO ₂ 420.165.463 t
Rodoferroviário = 45%	Goiás - Figueirópolis - SÃO LUIZ	12% Figueirópolis		Volume 6.859.290 t Frete R\$ 1.128.203.483,76 Emissão de CO ₂ 110.828.810 t
	Goiás - Figueirópolis - ILHÉUS	9% Figueirópolis		
	Goiás - Anápolis - VITÓRIA	3% Anápolis		
	Goiás - Ipameri - VITÓRIA	1,5% Ipameri		
	Goiás - Rio Verde - VITÓRIA	0,5% Rio Verde		
	Goiás - Rio Verde - SANTOS	15% Rio Verde		
	Goiás - São Simão - SANTOS	4% São Simão		
PORTOS			12% SÃO LUIZ	Volume 15.205.022 t
			9% ILHÉUS	Frete R\$
			6% VITÓRIA	2.442.542.079,28
			73% SANTOS	Emissão de CO ₂ 530.994.273 t

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Na amostra 03 os portos são utilizados com a mesma capacidade estabelecida como dado de entrada (São Luiz 12%, Ilhéus 9%, Vitória 6% e Santos 73%). Dos 6 transbordos propostos, apenas 5 foram utilizados (Figueirópolis 21%, Anápolis 3%, Ipameri 1,5%, Rio Verde 15,5% e São Simão 4%). A função Objetivo exibe 2,44E+09 para o frete total e 5,31E+14 para a emissão total. O percurso dos municípios goianos (rodoviário) teve uma participação de 55%, enquanto o rodoferroviário 45%.

4.2.3. Resultados da otimização de 2035 - Amostra A08 Ponto intermediário de frete e de emissão de CO₂

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 08 estão relacionados no apêndice A no Quadro 37, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 38, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

O Quadro 27 apresenta o resumo dos percentuais e dos totais de volume, frete e emissão de CO₂ da amostra A08.

Quadro 27 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO₂ - Amostra A08

AMOSTRA 08	ROTA	% TRANSBORDO	% PORTO	Totais de Volume, Frete e Emissão de CO ₂
Rodoviário = 51%	Goiás - SANTOS	51%	SANTOS	Volume 7.728.602 t Frete R\$ 1.210.975.872,35 Emissão de CO ₂ 386.910.759 t
Rodoferroviário = 49%	Goiás - Figueirópolis - SÃO LUIZ	12% Figueirópolis		Volume 7.476.420 t Frete R\$ 1.281.566.206,93 Emissão de CO ₂ 132.951.076 t
	Goiás - Figueirópolis - ILHÉUS	9% Figueirópolis		
	Goiás - Figueirópolis - VITÓRIA	3% Figueirópolis		
	Goiás - Anápolis - VITÓRIA	3% Anápolis		
	Goiás - Figueirópolis - SANTOS	0,5% Figueirópolis		
	Goiás - Ipameri - SANTOS	1,5% Ipameri		
	Goiás - Rio Verde - SANTOS	16% Rio Verde		
	Goiás - São Simão - SANTOS	4% São Simão		
PORTOS			12% SÃO LUIZ	Volume 15.205.022 t
			9% ILHÉUS	Frete R\$
			6% VITÓRIA	2.492.542.079,28
			73% SANTOS	Emissão de CO ₂ 519.861.835 t

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Na amostra 08 os portos são utilizados com a mesma capacidade estabelecida como dado de entrada (São Luiz 12%, Ilhéus 9%, Vitória 6% e Santos 73%). Dos 6 transbordos propostos, apenas 5 foram utilizados (Figueirópolis 24,5%, Anápolis 3%, Ipameri 1,5%, Rio Verde 16% e São Simão 4%). A função Objetivo exibe 2,49E+09 para o frete total e 5,20E+14 para a emissão total. O percurso dos municípios goianos (rodoviário) teve uma participação de 51%, enquanto o rodoferroviário 49%.

4.2.4. Resultados da otimização de 2035 - Amostra A15 Baixo valor de emissão de CO₂

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 15 estão relacionados no apêndice A no Quadro 39, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 40, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

O Quadro 28 apresenta o resumo dos percentuais e dos totais de volume, frete e emissão de CO₂ da amostra A15.

Quadro 28 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO₂ - Amostra A15

AMOSTRA 15	ROTA	% TRANSBORDO	% PORTO	Totais de Volume, Frete e Emissão de CO ₂
Rodoviário = 46%	Goiás - SANTOS	46%	SANTOS	Volume 7.050.655 t Frete R\$ 1.104.254.247,25 Emissão de CO ₂ 352.795.748 t
Rodoferroviário = 54%	Goiás - Porto Nacional - SÃO LUIZ	3% Porto Nacional		Volume 8.154.367 t Frete R\$ 1.458.287.832,03 Emissão de CO ₂ 160.872.748 t
	Goiás - Figueirópolis - SÃO LUIZ	9% Figueirópolis		
	Goiás - Figueirópolis - ILHÉUS	9% Figueirópolis		
	Goiás - Figueirópolis - VITÓRIA	3% Figueirópolis		
	Goiás - Anápolis - VITÓRIA	3% Anápolis		
	Goiás - Figueirópolis - SANTOS	5% Figueirópolis		
	Goiás - Ipameri - SANTOS	2% Ipameri		
	Goiás - Rio Verde - SANTOS	16% Rio Verde		
	Goiás - São Simão - SANTOS	4% São Simão		
PORTOS			12% SÃO LUIZ	Volume 15.205.022 t Frete R\$ 2.562.542.079,28 Emissão de CO ₂ 513.668.496 t
			9% ILHÉUS	
			6% VITÓRIA	
			73% SANTOS	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

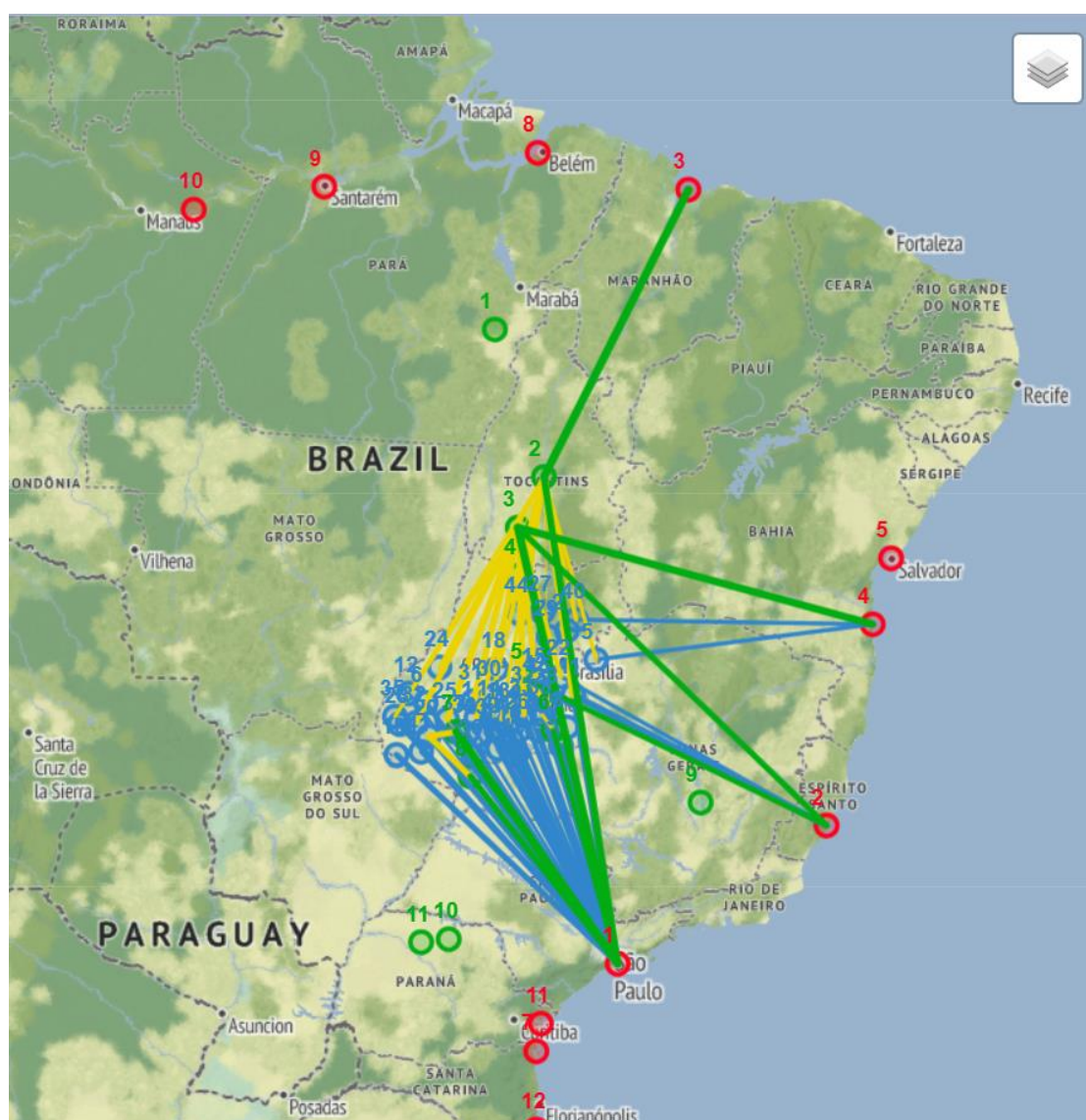
Na amostra 15 os portos são utilizados com a mesma capacidade estabelecida como dado de entrada (São Luiz 12%, Ilhéus 9%, Vitória 6% e Santos 73%). Dos 6 transbordos propostos, todos foram utilizados (Porto Nacional 3%, Figueirópolis 26%, Anápolis 3%, Ipameri 2%, Rio Verde 16% e São Simão 4%). A função Objetivo exibe 2,56E+09 para o frete total e 5,14E+14 para a emissão total. O percurso dos municípios goianos (rodoviário) teve uma participação de 46%, enquanto o rodoferroviário 54%.

4.2.5. Resultados da otimização de 2035 - Amostra A45 Menor emissão de CO₂ e maior frete

Na Figura 28 é apresentado a fotografia do mapa interativo do roteamento da amostra 45 que foi obtido do código em Python que está disponível no drive do link a seguir. Para acessar o mapa na internet o arquivo deve ser baixado no computador antes de acessar o mapa.

https://drive.google.com/file/d/1iFy8-3-P8jVGDwqEZdCLrFzx75VqLAYQ/view?usp=drive_link

Figura 28 Mapa interativo do roteamento da amostra 45 (menor emissão de CO₂)



- | | |
|--------------|----------------------------|
| ● Municípios | — Municípios ao Porto |
| ● Transbordo | — Municípios ao Transbordo |
| ● Porto | — Transbordo ao Porto |



Fonte: Autora, imagem obtida com código em *Python*

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 45 estão relacionados no apêndice A no Quadro 41, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 42, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

O Quadro 29 apresenta o resumo dos percentuais e dos totais de volume, frete e emissão de CO₂ da amostra A45.

Quadro 29 Resumo dos percentuais e totais de volume, frete e emissão de CO₂ - Amostra A45

AMOSTRA 45	ROTA	% TRANSBORDO	% PORTO	Totais de Volume, Frete e Emissão de CO ₂
Rodoviário = 31%	Goiás - SANTOS	31%	SANTOS	Volume 4.750.303 t Frete R\$ 729.593.496,84 Emissão de CO ₂ 232.599.682 t
Rodoferroviário = 69%	Goiás - Porto Nacional - SÃO LUIZ	12% Porto Nacional		Volume 10.454.719 t Frete R\$ 2.132.948.582,44 Emissão de CO ₂ 275.794.113 t
	Goiás - Figueirópolis - ILHÉUS	9% Figueirópolis		
	Goiás - Figueirópolis - VITÓRIA	3% Figueirópolis		
	Goiás - Anápolis - VITÓRIA	3% Anápolis		
	Goiás - Porto Nacional - SANTOS	6% Porto Nacional		
	Goiás - Figueirópolis - SANTOS	14% Figueirópolis		
	Goiás - Ipameri - SANTOS	2% Ipameri		
	Goiás - Rio Verde - SANTOS	16% Rio Verde		
	Goiás - São Simão - SANTOS	4% São Simão		
PORTOS			12% SÃO LUIZ	Volume 15.205.022 t Frete R\$ 2.862.542.079,28 Emissão de CO ₂ 508.393.795 t
			9% ILHÉUS	
			6% VITÓRIA	
			73% SANTOS	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Na amostra 45 os portos são utilizados com a mesma capacidade estabelecida como dado de entrada (São Luiz 12%, Ilhéus 9%, Vitória 6% e Santos 73%). Dos 6 transbordos propostos, todos foram utilizados (Porto Nacional 18%, Figueirópolis 26%, Anápolis 3%, Ipameri 2%, Rio Verde 16% e São Simão 4%). A função Objetivo exibe 2,86E+09 para o frete total e 5,08E+14 para a emissão total. O percurso dos municípios goianos (rodoviário) teve uma participação de 31%, enquanto o rodoferroviário 69%.

Nesta amostra 31% da mercadoria foi transportada dos municípios goianos diretamente para o porto de Santos. No transporte rodoferroviário o percurso com maior participação foi de Goiás - Rio Verde/GO - Santos/SP (16%) e o segundo trecho com maior participação é o de Goiás - Figueirópolis/TO - Santos/SP (14%).

No trecho ferroviário de Rio Verde/GO a Santos/SP o custo do frete é em média igual à 93,82 reais por tonelada e o da rota Figueirópolis/TO à Santos/SP é igual à 139,27 reais por

tonelada. O alto custo do frete na rota Figueirópolis/TO à Santos/SP se justifica pelo fato da mercadoria sair da região sul e sudoeste do estado de Goiás, passar pelo transbordo localizado na unidade federativa de Tocantins (ao norte de Goiás) e após percorrer 2.044,01 km nas linhas ferroviárias chega no porto de Santos/SP que fica na região sudeste do Brasil. Já o custo do transporte do trecho Rio Verde/GO a Santos/SP é menor, pois o percurso da mercadoria que tem como origem a região sudoeste de Goiás, após percorrer 1.212,51 km segue na direção sudeste do país para o porto de Santos/SP.

4.2.6. Análise comparativa das amostras 01 e 45

A Figura 29 demonstra a representação gráfica dos trajetos percorridos no transporte da soja e do farelo de soja nas amostras 01 e 45.

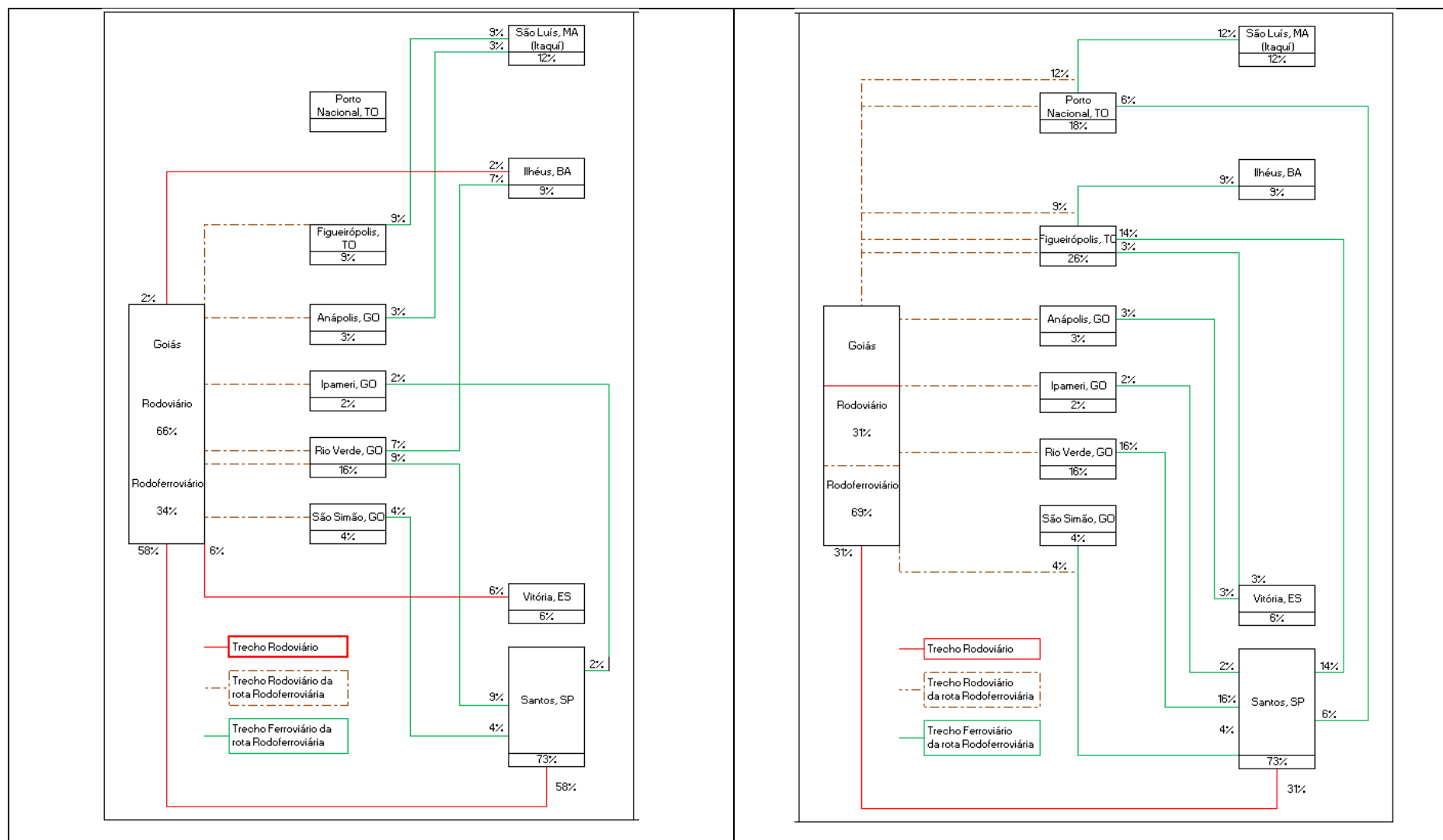
Na representação gráfica da Figura 29 é possível observar que da amostra 01 para a amostra 45 houve um aumento percentual de transporte rodoferroviário de 34% para 69%. À medida que o transporte ferroviário é priorizado o sistema considera até mesmo rotas em direções opostas, como ocorre na amostra 45:

- Sudoeste goiano – transbordo de Porto Nacional/TO (ao norte de Goiás) – região sudeste do país no porto de Santo/SP (6% da carga);
- Sudoeste goiano – transbordo de Figueirópolis/TO, norte brasileiro – região sudeste do país no porto de Vitória/ES (3% da carga); e
- Sudoeste goiano – transbordo de Figueirópolis/TO, norte brasileiro – região sudeste do país no porto de Santo/SP (14% da carga).

Em contrapartida na amostra 01 é considerado apenas um trajeto em direção oposta, na rota sudoeste goiano – transbordo de Rio Verde na região sudoeste de Goiás – região nordeste do país no porto de Ilhéus/BA (9% da carga).

Nos percursos rodoferroviários, na amostra 01 os trajetos com maior participação de transporte de mercadoria foram de Goiás - Rio Verde/GO - Santos/SP e de Goiás - Figueirópolis/TO - São Luiz/MA, ambos com participação igual à 6% e na amostra 45 o percurso com maior participação foi de Goiás - Rio Verde/GO - Santos/SP (16%) e o segundo trecho com maior participação é o de Goiás - Figueirópolis/TO - Santos/SP (14%).

Figura 29 Representação gráfica do resultado das amostras A01 e A45, respectivamente



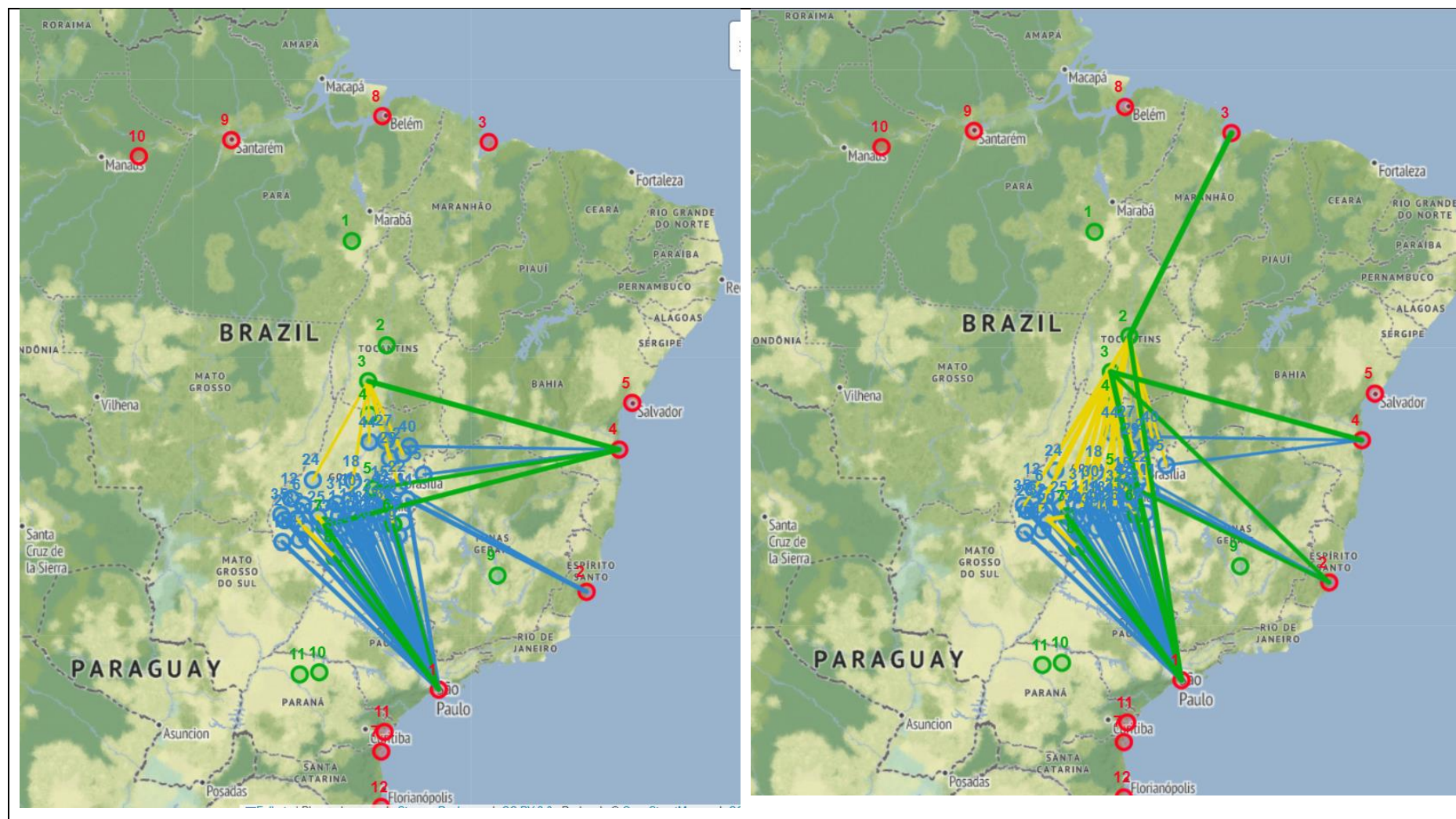
Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Na Figura 30 consta a imagem dos mapas dos roteamentos das amostras A01 e A45, respectivamente. O resultado do roteamento da amostra 01 foi apresentado na Figura 26 do item 4.2.1 (Resultados da otimização de 2035 - Amostra A01 Menor frete) e da amostra 45 na Figura 28 do item 4.2.5 (Resultados da otimização de 2035 - Amostra A45 Menor emissão de CO₂ e maior frete).

No mapa da amostra 45: o modelo prioriza o transporte ferroviário mesmo que a distância percorrida seja um pouco maior.

Comparando os mapas das amostras 01 e 45: na amostra 01 (que há muita emissão de CO₂) é possível observar que há uma grande parcela de transporte rodoviário dos municípios (pontos azuis) para o porto de Santos (pontos vermelhos) que é representado pela linha azul. Em contrapartida, as linhas amarelas (municípios ao transbordo) e as linhas verdes (transbordo ao porto) são curtas e poucas; na amostra 45 (que há pouca emissão de CO₂) é possível observar que há uma grande parcela de transporte rodoviário dos municípios (pontos amarelos) para os transbordos (pontos verdes) que é representado pelas linhas amarelas. Essas linhas, em geral, têm origem no sudoeste goiano e destino no norte do país. Ainda na amostra 45 é importante destacar que aumentou o volume transportado nos transbordos de Porto Nacional e Figueirópolis, mesmo considerando uma distância maior, como exemplo do transbordo de Figueirópolis para o porto de Santos, ou seja, a otimização priorizou o transporte ferroviário com grandes distâncias, que aumentou o frete e diminuiu a emissão de CO₂.

Figura 30 Mapas dos roteamentos das amostras A01 e A45, respectivamente



4.2.7. Comentário dos resultados das amostras A01, A03, A08, A15 e A45

O Quadro 30 apresenta a relação entre função objetivo de CO₂ e o transporte rodoviário.

Quadro 30 Relação entre Função objetivo de CO₂ e o transporte rodoviário

AMOSTRAS	FUNÇÃO OBJETIVO	RODOVIÁRIO				
	 CO ₂	 %	São Luiz	Ilhéus	Vitória	Santos
AMOSTRA 01	5,78 E+14	66%		2%	6%	58%
AMOSTRA 03	5,31 E+14	55%			1%	54%
AMOSTRA 08	5,20 E+14	51%				51%
AMOSTRA 15	5,14 E+14	46%				46%
AMOSTRA 45	5,08 E+14	31%				31%

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Com relação ao transporte rodoviário pode-se dizer que:

- não houve transporte de Goiás para o Porto de São Luís;
- o Porto de Ilhéus foi utilizado apenas na amostra 01 recebendo 2,2% da mercadoria;
- o Porto de Vitória foi utilizado nas amostras 01 e 03, com 6% e 0,95% da capacidade respectivamente, e;
- no Porto de Santos a utilização nas 5 amostras diminuiu de 58% na amostra 01 para 31% na amostra 45.

O Quadro 31 apresenta a relação entre função objetivo de frete e o transporte rodoferroviário.

Quadro 31 Relação entre Função objetivo de frete e o transporte rodoferroviário

AMOSTRAS	FUNÇÃO OBJETIVO	RODOFERROVIÁRIO						
	 FRETE	 %	Porto Nacional	Figueirópolis	Anápolis	Ipameri	Rio Verde	São Simão
AMOSTRA 01	2,42 E+09	34%		9%				
AMOSTRA 03	2,44 E+09	45%		21%				
AMOSTRA 08	2,49 E+09	49%		25%	3%	2%	16%	4%
AMOSTRA 15	2,56 E+09	54%	3%	26%				
AMOSTRA 45	2,86 E+09	69%	18%	26%				

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Com relação ao transporte rodoferroviário pode-se dizer que:

- nas 5 amostras os transbordos de Anápolis, Ipameri, Rio Verde e São Simão, foram utilizados com a mesma capacidade sendo 3%, 2%, 16% e 4%, respectivamente;
- os transbordos de Porto Nacional e Figueirópolis, nas amostras A15 e A45 aumentaram a sua participação e consequentemente a utilização do transporte rodoferroviário;
- o Porto de São Luís foi utilizado em todas as 5 amostras com percentual constante igual a 12%;
- o Porto de Ilhéus foi utilizado nas 5 amostras, mas com um percentual diferente apenas na amostra 01; e
- o Porto de Vitória foi utilizado nas amostras 03, 08, 15 e 45, sendo que apenas na amostra 03 foi utilizado com um percentual um pouco menor;

O Quadro 32 apresenta a relação entre as amostras e a utilização percentual dos portos.

Quadro 32 Relação entre as amostras e a utilização percentual dos portos

AMOSTRAS	PORTOS			
	São Luiz	Ilhéus	Vitória	Santos
AMOSTRA 01		2%	6%	58%
AMOSTRA 03			1%	54%
AMOSTRA 08				51%
AMOSTRA 15				46%
AMOSTRA 45				31%

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Observaram-se as mesmas proporções de utilização para todos os portos e para o porto de Santos a utilização foi aumentando na parcela do transporte rodoferroviário à medida que foi diminuindo na participação do transporte rodoviário (municípios goianos ao porto), pois para este porto foi atribuída a maior capacidade (73%).

Os principais resultados são:

Ao analisar os dados dos cenários 01 a 04 (percentuais diferentes de transporte rodoviário e rodoferroviário) é possível fazer as considerações elencadas a seguir.

No cenário 02 as 13.937 toneladas a menos de emissão de CO_{2e} quando comparado ao cenário 01 gera uma receita de 1 milhão de reais. A economia de 29 milhões de reais referente

ao frete somada ao lucro da não emissão de CO_{2e} possibilita um ganho total de 30 milhões de reais.

Comparando o cenário 03, que contempla o início das atividades da malha Rumo Malha Central, com os cenários 01 e 02 é possível destacar que a utilização do Terminal de Rio Verde (TRV) possibilitou o aumento de ganho capital e a diminuição das emissões de CO₂.

Analisando o cenário 04 infere-se que houve uma economia de 13 milhões de reais referente à não emissão de 191.367 toneladas de CO_{2e}. Do cenário 01 para o cenário 04 somado à economia de 78 milhões de reais de frete gera um retorno financeiro total de 91 milhões de reais.

Concluindo ao analisar os cenários de 01 a 04 é possível perceber que à medida que o percentual de participação do transporte ferroviário vai aumentando a emissão de CO_{2e} e o custo do frete vão diminuindo.

Dos resultados da otimização de 2035 ao fazer a análise comparativa das amostras 01 e 45 é possível observar que da amostra 01 para a amostra 45 houve um aumento percentual de transporte rodoferroviário de 34% para 69%. À medida que o transporte ferroviário é priorizado o sistema considera até mesmo rotas em direções opostas. Da amostra 45 (menor emissão de CO₂ e maior frete) destaca-se que a carga tem origem no sudeste goiano, os pontos intermediários são os transbordos de Porto Nacional/TO (ao norte de Goiás) e de Figueirópolis/TO (norte brasileiro) e os destinos são os portos da região sudeste do país (Vitória/ES e Santo/SP). Em contrapartida na amostra 01 (menor frete) é considerado apenas um trajeto em direção oposta, na rota sudoeste goiano – transbordo de Rio Verde na região sudoeste de Goiás – região nordeste do país no porto de Ilhéus/BA (9% da carga).

Portanto, a otimização ao priorizar a menor emissão de CO₂ prioriza também o transporte ferroviário, mesmo que a distância total percorrida seja maior. Consequentemente ao fazer esta consideração há um aumento significativo no custo total do frete.

As limitações desta pesquisa se deveram ao fato de serem necessárias muitas estimativas no processo de construção dos cenários. Uso de simplificações como considerar o transporte da soja e do farelo de soja diretamente do produtor para a exportação, ou seja, sem considerar o transporte do produtor para os armazéns ou usinas. Outros aspectos que não foram incluídos, como por exemplo: custos nos terminais de transbordo; custo de operação nos portos; custos de perdas nos diferentes tipos de transporte.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa foi delineada com objetivos claros e estratégicos, visando aprofundar o entendimento da cadeia produtiva e logística da soja para exportação em Goiás. Primeiramente, buscou-se analisar detalhadamente os dados relacionados à exportação de soja, incluindo volumes de exportação, distâncias percorridas, custos de frete, emissões de CO₂, capacidades de transbordo e dos portos utilizados. Este exame minucioso pode capturar uma fotografia precisa da logística atual e seus desafios ambientais e econômicos.

Em seguida, a pesquisa focou em quantificar o impacto financeiro associado à redução das emissões de CO₂. Para isso, foram considerados quatro cenários distintos, variando os percentuais de utilização dos modais rodoviário e rodoferroviário, permitindo uma análise comparativa robusta. Este aspecto da pesquisa também contemplou a avaliação do impacto significativo introduzido pela entrada em operação da ferrovia Rumo Malha Central (RMC) em março de 2021, um marco relevante no sistema logístico nacional.

Por fim, a pesquisa visou otimizar o comportamento do transporte rodoferroviário projetando para o ano de 2035. Através de uma formulação matemática, foram analisados os resultados potenciais dessa otimização, considerando as variáveis logísticas e ambientais. Este objetivo ambicioso não apenas projetar um futuro mais sustentável para o transporte de soja no Brasil, mas também fornece *insights* valiosos para tomadores de decisão no setor, possibilitando a avaliação de alternativas que equilibram considerações econômicas e ambientais.

Esta pesquisa destaca a importância de adaptar a infraestrutura existente e as práticas logísticas para promover uma cadeia de suprimentos mais sustentável e ecologicamente responsável. A incorporação de pontos de transbordo rodoferroviário que estarão ativos no horizonte da análise (2035), como sugerido pelo estudo, representa uma oportunidade significativa para melhorar a eficiência e a sustentabilidade do transporte de soja.

A abordagem biobjetiva adotada transcende a tradicional focalização na minimização dos custos, oferecendo uma perspectiva mais holística que considera tanto o impacto econômico quanto o ambiental. Esta abordagem ressalta a necessidade de estratégias logísticas que não só sejam economicamente viáveis, mas que também minimizem o impacto ambiental, alinhando-se assim com os objetivos globais de sustentabilidade.

Embora esta pesquisa tenha fornecido contribuições significativas, ela também enfrentou limitações, como a necessidade de estimativas e simplificações no processo de construção dos cenários. Estas limitações abrem caminhos para futuras investigações, sugerindo a aplicação de outros modelos de otimização e a consideração de variáveis adicionais, como o frete de retorno, que podem oferecer uma compreensão ainda mais completa das dinâmicas envolvidas no transporte de soja.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. Planilha excel “est_2022_12_br”. **ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**, 2022. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em: Março 2023.

AMINZADEGAN, S.; Shahriari, M.; Mehranfar, F.; Abramović, B. *Factors affecting the emission of pollutants in different types of transportation: A literature review.*, 8, Novembro 2022. 2508-2529. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.161>

ANTF. Informativo final. **ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários**, 2023. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>. Acesso em: Janeiro 2023.

ANTT. **Novos projetos ferroviários**. **ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres**, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/novos-projetos-ferroviarios>. Acesso em: Março 2023.

ANTT. **Transporte de Carga - Origem Destino- 2006 - janeiro 2023**. **ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres**, Janeiro 2023b. Acesso em: Março 2023.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ Logística empresarial**. 5th. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=QAHrq0r6E7cC&oi=fnd&pg=PA1&dq=ballou+gerenciamento+da+cadeia+de+suprimentos+log%C3%ADstica+empresarial&ots=kfM1W176sh&sig=W85weE3GqDDPSZc_L3X__yyZtys&redir_esc=y#v=onepage&q=ballou%20gerenciamento%20da%20cadeia%20de%20suprimentos%20log%C3%ADstica%20empresarial&f=false

BRANCO, J. E. H.; Bartholomeu, D. B.; Alves-Junior, P. N.; Caixeta-Filho, J. V. *Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the Brazilian's transportation network: An application of a network equilibrium model*. *Transport Policy*, v. 124, p. 61-69, Agosto 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.011>

CNT. Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho. **CNT - Confederação Nacional do Transporte**, 2015. Disponível em: <https://cnt.org.br/entraves-logisticos-escoamento-soja-milho>. Acesso em: Abril 2023.

CNT. Boletim Unificado - Fevereiro 2023. CNT - **Confederação Nacional do Transporte**, 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: Março 2023.

CODEBA. **CODEBA - Companhia das Docas do Estado da Bahia. Apresentação**, 2023. Disponível em: https://www.codeba.gov.br/eficiente/sites/portalcodedba/pt-br/porto_ilheus.php?secao=porto_ilheus_apresentacao. Acesso em: Agosto 2023.

CONAB. **Boletim Logístico** - Julho 2023. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2023a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/boletim-logistico/item/download/48362_4fdc0dd34b1bacd33466fda9dab8e14d. Acesso em: Julho 2023.

CONAB. **Planilha excel "SojaSerieHist"**. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2023b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/911-soja_Arquivo_exce. Acesso em: Setembro 2023.

CONAB. **Planilha excel "site-6o-Lev-PREVISAO_DE_SAFRA-MAR-2023"**. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, Março 2023c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: Março 2023.

DE CARVALHO, G. D. G.; Sokulskia, C. C.; Da Silva, W. V.; De Carvalho, H. G.; De Moura, R. V.; De Francisco, A. C.; Da Veiga, C. P. ***Bibliometrics and systematic reviews: A comparison between the Proknow-C and the Methodi Ordinatio***. *Journal of Informetrics*, v. 14, n. 3, p. 101043, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101043>

DE OLIVEIRA, A. L. R.; Venturim, G.; Coleti, J. de C.; Lopes, B. F. R. **Logística de exportação do açúcar do Estado de São Paulo: uma estimativa da matriz origem-destino**. *Revista Espacios*. Vol 34 (Nº 12) Año 2013. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a13v34n12/13341209.html>

DE WECK, O. L. ***Multiobjective optimization: History and promise. Strategic Engineering Research Group (SERG)***, 2004. Disponível em: http://strategic.mit.edu/docs/3_46_CJK-OSM3-Keynote.pdf. Acesso em: Abril 2023.

DEMIR, E ; BEKTAS, T ; LAPORTE, G. ***A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation***. *Transportation Research Part D*, v. 16, p. 347-357, 2011. doi:10.1016/j.trd.2011.01.011

EMBRAPA. **Caminho da safra (safra 2015/2016)**. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2022a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/macrologistica/caminhos-da-safra>. Acesso em: Abril 2022.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2020/2021)**. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2022b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos/>. Acesso em: Abril 2022.

EPL. **Green Bonds: EPL assina acordo para realização de estudos verdes para concessões de ferrovias**. EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA, 2020. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/green-bonds-epl-assina-acordopara-realizacao-de-estudos-verdes-para-concessoes-de-ferrovias/>. Acesso em: Março 2022.

EPL. **PNL 2035 (Plano Nacional de Logística)**. EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA; MINISTERIO DA INFRAESTRUTURA, 29 Outubro 2021. Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/PNL_2035_29-10-21.pdf. Acesso em: Abril 2021.

FERREIRA, F. G. D. C. **Estudo comparativo de modelos e técnicas para otimização de portfólios com restrição de cardinalidade**. Belo Horizonte: PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL, 2018. 102 p. Disponível em: <https://sig.cefetmg.br/sigaa/verArquivo?idArquivo=2050191&key=f626a8a2e9d6100f0f2e7b37d8143312>.

FERREIRA, J. ; STEINER, M. ; JUNIOR, O. ***Guide to multi-objective optimization for the green vehicle routing problem***. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, v. 36, n. 1, p. 15, 2020. Disponível em: https://www.scipedia.com/public/Ferreira_et_al_2020a. DOI: 10.23967/j.rimni.2020.03.001

FLEURY, A.; Mello, C. H. P.; Nakano, D. N.; De Lima, E. P.; Turrioni, J. B.; Ho, L. L.; Morabito, R.; Martins, R. A.; Sousa, R.; Da Costa, S. E. G.; Pureza, V.; Cauchick-Miguel, P. **A. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

FULZELE, V. ; SHANKAR, R. *Performance measurement of sustainable freight transportation: a consensus model and FERA approach*. Annals of Operations Research, v. 324, p. 501–542, Janeiro 2021. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03876-2>

GOINFRA. **Governo de Goiás apresenta projeto de lei para facilitar exploração de ferrovias pela iniciativa privada**. GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes, 2023a. Disponível em: <http://www.goinfra.go.gov.br/noticias/governo-de-goias-apresenta-projeto-de-lei-para-facilitar-exploracao-de-ferrovias-pela-iniciativa-privada/213867>. Acesso em: Março 2023a.

GOINFRA. **Governo de Goiás dá início à implantação do Sistema Ferroviário Estadual**. GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes, 2023b. Disponível em: <http://www.goinfra.go.gov.br/noticias/governo-de-goias-da-inicio-a-implantacao-do-sistema-ferroviario-estadual/213858#:~:text=O%20Governo%20de%20Goi%C3%A1s%20deu,congrega%20a%20malha%20vi%C3%A1ria%20estadual>. Acesso em: Março 2023b.

GOINFRA. **Mapa_Rodoviário_27_02_2023.pdf**. GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes., 27 Fevereiro 2023c. Disponível em: https://www.goinfra.go.gov.br/arquivos/Mapas2023/Mapa_Rodovi%C3%A1rio_27_02_2023.pdf. Acesso em: Março 2023.

GOINFRA. **Workshop sobre Ferrovias Estaduais discute ampliação e integração multimodal do transporte**. GOINFRA - Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes., Março 2023d. Disponível em: <https://www.goinfra.go.gov.br/noticias/workshop-sobre-ferrovias-estaduais-discute-ampliacao-e-integracao-multimodal-do-transporte/213868>. Acesso em: Março 2023.

GUNANTARA, N. A. *A review of multi-objective optimization: Methods and its applications*. *Cogent Engineering*, v. 5, n. 1, Agosto 2018. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1502242>

ILOS. **Panorama das emissões de gases do efeito estufa no transporte de cargas.** ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain, 2023. Disponível em: <https://ilos.com.br/panorama-das-emissoes-de-gases-do-efeito-estufa-no-transporte-de-cargas/>. Acesso em: Abril 2023.

INFRA-S.A. **Mapa da malha ferroviária presente no Brasil.** Incorporação da Empresa de Planejamento e Logística S.A (EPL) pela VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2022a. Disponível em: <https://portal.valec.gov.br/ferrovias>. Acesso em: Março 2022.

INFRA-S.A. **Simulador de custo de transporte.** Incorporação da Empresa de Planejamento e Logística S.A (EPL) pela VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2022b. Disponível em: <https://simuladores.infrasa.gov.br/simulators/simulador-de-custo-de-transporte/embed>. Acesso em: Abril 2022.

INFRA-S.A. **Simulador de gases de efeito estufa.** Incorporação da Empresa de Planejamento e Logística S.A (EPL) pela VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., 2022c. Disponível em: <https://simuladores.infrasa.gov.br/simulators/simulador-de-gases-de-efeito-estufa/embed>. Acesso em: Abril 2022.

ISLER, C.A.; ASAFF, Y.; MARINOV, M. ***Designing a Geo-Strategic Railway Freight Network in Brazil Using GIS.*** *Sustainability*, v. 13, n. 1, p. 85, 2021. <https://dx.doi.org/10.3390/su13010085>

JAYARATHNA, C.P.; Agdas, D.; Dawes, L.; Yigitcanlar, T. ***Multi-Objective Optimization for Sustainable Supply Chain and Logistics: A Review.*** *Sustainability*. 2021, 13, 13617. <https://doi.org/10.3390/su132413617>

KUMAR, A., Anbanandam, R. ***Assessment of environmental and social sustainability performance of the freight transportation industry: An index-based approach.*** *Transport Policy*, Roorkee, India, v. 124, p. 43-60, Agosto 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X19305256?via%3Dihub>. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.01.006>

LI, L. ; ZHANG, X. ***Reducing CO₂ emissions through pricing, planning, and subsidizing rail freight.*** *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 87, p. 102483, Outubro 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102483>

MAPA. **Projeções do Agronegócio. MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf/>. Acesso em: Agosto 2023.

MARLER, R. T.; ARORA, J. S. *Survey of multi-objective optimization methods for engineering. Structural and Multidisciplinary Optimization*, v. 26, p. 369–395, Março 2004. DOI 10.1007/s00158-003-0368-6

MARTINS, R. S.; CAIXETA FILHO, J. V. **Matrizes de Origem-Destino como Estimativa de Fluxos de Produtos Agrícolas: O Caso de Grãos e Farelo de Soja no Estado do Paraná.** In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 1998. Anais [...]. Poços de Caldas: [s.n.].

MESQUITA-CUNHA, M. ; FIGUEIRA, J. R.; BARBOSA-PÓVOA, A. P. *New ε -constraint methods for multi-objective integer linear programming: A Pareto front representation approach. European Journal of Operational Research*, 2023. 286–307. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.044>

NOCEDAL, J. ; WRIGHT, S. *Numerical Optimization*. [S.l.]: Springer New York, NY, 1960.

ORDUÑA-MALEA, E. ; R., Costas. *Link-based approach to study scientific software usage: the case of VOSviewer. Scientometrics*, 2021. 8153–8186. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04082-y>

PÉRA, T. G.; Bartholomeu, D. B.; Su, C. T.; Caixeta-Filho, J. V. *Evaluation of green transport corridors of Brazilian soybean exports to China. Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 3, p. 398-412, Setembro 2019. DOI: 10.14488/BJOPM.2019.v16.n3.a4

PÉRA, T. G.; CAIXETA-FILHO, J. V.; SALIN, D. L. *Brazil Modal Share Analysis for Corn and Soybeans: 2010-19 (Summary). United States Department of Agriculture*. [S.l.]. 2021.

PÉRA, Thiago guilherme. **Efeitos das mudanças tecnológicas e infraestruturais do transporte para o fomento da logística verde da soja brasileira: abordagens multiobjetivos.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2022.

PINTO, J. T.; Mistageb, O.; Bilottac, P.; Helmers, E. **Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation**. *Environmental Development*, v. 25, p. 100-110, Março 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2017.07.005>

RESAT, H. G.; TURKAY, M. **A bi-objective model for design and analysis of sustainable intermodal transportation systems: a case study of Turkey**, *International*, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1587187>

RUMO. **Apresentação do Terminal de Rio Verde (TRV)**. Rumo Logística. Goiânia. 2023a.

RUMO. **GOINFRA WS DO SFE**. Rumo Logística. Goiânia. 2023b.

SBIHI, A. ; EGGLESE, R. W. **Combinatorial optimization and Green Logistics**. *Annals of Operations Research*, v. 175, n. 2010, p. 159–175, Outubro 2009. DOI 10.1007/s10479-009-0651-z

SEEG. **SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/seeg>. Acesso em: Abril 2023.

SIDRA, Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Produção Agrícola Municipal - PAM. Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias**, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: Julho 2023.

SILVA, F. P. F.; Stukart, B. R. L.; Morais, L. S. R.; Stelling, P. F. B.; Cavalcanti, M. C. B.; Da Costa, A. O. **Políticas públicas para o transporte rodoviário de cargas no Brasil: impactos sobre a demanda energética e a emissão de poluentes atmosféricos**. Rio Oil & Gas 2020: Technical Papers, Rio de Janeiro, v. 540, Dezembro 2020. DOI: <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2020.540>

SOUZA, F. L. U.; Larranaga, A. M.; Palma, D.; Pitombo, C. S. **Modeling travel mode choice and characterizing freight transport in a Brazilian context**. *Transportation Letters*, v. 14, n. 9, p. 983-996, Setembro 2022. <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1976011>

SUN, Y. ; YU, N. ; HUANG, B. **Green road–rail intermodal routing problem with improved pickup and delivery services integrating truck departure time planning under uncertainty: an interactive fuzzy programming approach.** *Complex & Intelligent Systems*, v. 8, p. 1459–1486, Dezembro 2021. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00598-1>

TAPIA, R. J.; De Jong G.; Larranaga, A. M.; Cybis, H. B. B. **Application of MDCEV to infrastructure planning in regional freight transport.**, 133, 2020. 255-271. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.016>

TAQI, M.; Rusydiana, A. S.; Kustiningsih, N.; Firmansyah, I. **Environmental Accounting: A Scientometric using Biblioshiny.** *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2021, 11(3), 369-380. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10986>.

TEIXEIRA, C. A. N.; Rocio, M. A. R.; Mendes, A. P. A.; D'Oliveira, L. A. S. **Navegação de cabotagem brasileira.** BNDES Setorial, v. 47, p. 391-346, Março 2018. Disponível em: web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15385/1/BS47__Cabotagem__FECHADO.pdf.

TRANSPORTES, Ministério dos. **PNLP 2019 (Plano Nacional de Logística Portuária).** Ministério dos Transportes, 2019. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/images/2020/03/2.14.pdf>. Acesso em: Agosto 2023.

VLI. Sistema logístico multimodal. **VLi Logística, 2023.** Disponível em: <https://www.vli-logistica.com.br/negocios/#sistema-logistico>. Acesso em: Março 2023.

ZALUSKI, Regina da Silva. **Análise do transporte intermodal da soja destinada à exportação, considerando os custos de emissões de CO₂ no Brasil.** Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2018. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/4017>.

APÊNDICES

APÊNDICE A: DODOS SUPLEMENTARES DO CAPÍTULO DE RESULTADOS

A seguir são apresentados alguns resultados do item 4.2 Análise do comportamento do transporte rodoferroviário otimizado para 2035.

- Resultados da otimização de 2035 - Amostra A01 Menor frete

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 01 estão relacionados no Quadro 33, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 34, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

Quadro 33 Resultados A01- Municípios goianos ao porto

TIPO - TRANSP.	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Cabeceiras	146.771	29.793.961,54	9.753.752	ILHÉUS, BA
	São João d'Aliança	187.015	36.956.427,38	12.071.740	
RODOVIÁRIO	Cristalina	751.113	136.161.919,58	44.141.446	VITÓRIA, ES
	Luziânia	161.188	31.004.952,08	10.104.513	
RODOVIÁRIO	Catalão	601.288	78.265.718,77	24.455.936	SANTOS, SP
	Mineiros	520.801	97.484.057,96	31.694.360	
	Edealina	118.364	18.743.030,18	5.995.251	
	Portelândia	120.731	23.102.159,95	7.525.599	
	Edéia	130.200	20.942.808,36	6.709.997	
	Itumbiara	153.873	20.739.605,88	6.510.096	
	Bom Jesus de Goiás	300.644	43.479.698,45	13.766.760	
	Campo Alegre de Goiás	352.724	49.668.780,27	15.676.187	
	Quirinópolis	113.629	17.319.094,97	5.516.770	
	Joviânia	106.527	15.930.940,12	5.063.750	
	Santa Cruz de Goiás	99.426	14.974.345,50	4.763.499	
	Caiapônia	317.215	60.605.734,55	19.739.845	
	Ipameri	494.761	68.886.671,27	21.711.573	
	Piracanjuba	331.419	50.202.258,19	15.980.206	
	Silvânia	130.556	21.077.294,77	6.755.682	
	Serranópolis	158.608	26.117.365,01	8.388.241	
	Cristalina	524.849	82.621.100,79	26.410.953	
	Vianópolis	156.819	24.958.314,70	7.987.605	
	Vicentinópolis	108.895	16.674.263,92	5.314.088	
	Turvelândia	125.466	19.835.113,15	6.343.461	
	Bela Vista de Goiás	94.691	14.929.899,78	4.773.360	
	Paraúna	591.819	102.508.724,12	33.089.209	
(CONTINUA)					

TIPO - TRANSP.	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Caldas Novas	158.608	22.169.215,58	6.990.586	SANTOS, SP
	Montividiu	103.572	17.817.400,75	5.747.536	
	Chapadão do Céu	480.557	81.228.360,85	26.157.345	
	Acreúna	243.830	41.241.967,35	13.281.713	
	Jataí	1.179.235	204.397.895,15	65.982.896	
	Doverlândia	92.324	18.522.960,24	6.058.108	
	Morrinhos	153.873	22.655.699,50	7.188.398	
	Pontalina	156.240	24.012.672,78	7.655.975	
	Goiatuba	383.499	54.618.731,38	17.262.125	
	Santa Helena de Goiás	258.033	41.501.728,19	13.296.893	
66% RODOV.		10.109.163	1.651.150.873	529.865.456	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Rio Verde,	1.848.844	28.231.833,52		RIO VERDE, GO				
	Montividiu,	582.938	13.214.486,67	1.526.823					
SUBTOTAL		2.431.782	41.446.320,19	1.526.823					
FERROVIÁRIO						1.034.666	145.712.012,78	38.705	ILHÉUS, BA
						1.397.116	131.077.423,12	30.577	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.431.782	276.789.435,90	69.282	
RODOVIÁRIO	Perolândia,	196.484	10.768.630,63	2.750.006	SÃO SIMÃO, GO				
	Jataí,	404.474	17.912.102,94	4.154.500					
SUBTOTAL		600.958	28.680.733,57	6.904.506					
FERROVIÁRIO						600.958	49.062.211,12	10.731	SANTOS, SP
SUBTOTAL						600.958	49.062.211,12	10.731	
34% RODO		5.095.859	212.442.169	47.658.820					
FERROVIÁRIO						5.095.859	558.949.036	138.223	
TOTAL						5.095.859	771.391.206,25	47.797.043	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

- Resultados da otimização de 2035 - Amostra A03 Baixo valor de frete

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 03 estão relacionados no Quadro 35, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 36, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

Quadro 35 Resultados A03 - Municípios goianos ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Cristalina	144.512	26.197.118,22	8.492.673	VITÓRIA, ES
RODOVIÁRIO	Catalão	601.288	78.265.718,77	24.455.936	SANTOS, SP
	Mineiros	520.801	97.484.057,96	31.694.360	
	Edealina	118.364	18.743.030,18	5.995.251	
	Portelândia	120.731	23.102.159,95	7.525.599	
	Edéia	130.200	20.942.808,36	6.709.997	
	Itumbiara	153.873	20.739.605,88	6.510.096	
	Bom Jesus de Goiás	300.644	43.479.698,45	13.766.760	
	Campo Alegre de Goiás	352.724	49.668.780,27	15.676.187	
	Quirinópolis	113.629	17.319.094,97	5.516.770	
	Joviânia	106.527	15.930.940,12	5.063.750	
	Santa Cruz de Goiás	99.426	14.974.345,50	4.763.499	
	Ipameri	494.761	68.886.671,27	21.711.573	
	Piracanjuba	331.419	50.202.258,19	15.980.206	
	Serranópolis	158.608	26.117.365,01	8.388.241	
	Cristalina	1.131.450	178.111.544,25	56.935.765	
	Vicentinópolis	108.895	16.674.263,92	5.314.088	
	Turvelândia	125.466	19.835.113,15	6.343.461	
	Bela Vista de Goiás	94.691	14.929.899,78	4.773.360	
	Caldas Novas	158.608	22.169.215,58	6.990.586	
	Montividiu	103.572	17.817.400,75	5.747.536	
	Chapadão do Céu	480.557	81.228.360,85	26.157.345	
	Acreúna	243.830	41.241.967,35	13.281.713	
	Orizona	20.276	3.090.449,77	984.423	
	Jataí	1.179.235	204.397.895,15	65.982.896	
	Morrinhos	153.873	22.655.699,50	7.188.398	
	Pontalina	156.240	24.012.672,78	7.655.975	
	Goiatuba	383.499	54.618.731,38	17.262.125	
	Santa Helena de Goiás	258.033	41.501.728,19	13.296.893	
55% RODOVIÁRIO		8.345.732	1.314.338.595,52	420.165.463	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Vianópolis	76.512	2.691.037,20	539.040	IPAMERI, GO				
	Orizona	162.004	4.606.892,28	755.120					
SUBTOTAL		238.516	7.297.929,48	1.294.160					
FERROVIÁRIO						238.516	26.594.534,00	6.613	VITÓRIA, ES
SUBTOTAL						238.516	26.594.534,00	6.613	
RODOVIÁRIO	Rio Verde	1.848.844	28.231.833,52		RIO VERDE, GO				
	Montividiu	582.938	13.214.486,67	1.526.823					
SUBTOTAL		2.431.782	41.446.320,19	1.526.823					
FERROVIÁRIO						134.294	18.961.006,43	5.040	VITÓRIA, ES
						2.297.488	215.550.299,86	50.282	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.431.782	234.511.306,29	55.322	
RODOVIÁRIO	Perolândia	196.484	10.768.630,63	2.750.006	SÃO SIMÃO, GO				
	Jataí	404.474	17.912.102,94	4.154.500					
SUBTOTAL		600.958	28.680.733,57	6.904.506					
FERROVIÁRIO						600.958	49.062.211,12	10.731	SANTOS, SP
SUBTOTAL						600.958	49.062.211,12	10.731	
45% RODO		6.859.290	417.327.856,62	110.656.456					
FERROVIÁRIO						6.859.290	710.875.627	172.355	
TOTAL						6.859.290	1.128.203.483,76	110.828.810	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

- Resultados da otimização de 2035 - Amostra A08 Ponto intermediário de frete e de emissão de CO₂

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 08 estão relacionados no Quadro 37, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 38, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

Quadro 37 Resultados A08 - Municípios goianos ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Catalão	601.288	78.265.718,77	24.455.936	SANTOS, SP
	Mineiros	520.801	97.484.057,96	31.694.360	
	Edealina	118.364	18.743.030,18	5.995.251	
	Portelândia	120.731	23.102.159,95	7.525.599	
	Itumbiara	153.873	20.739.605,88	6.510.096	
	Bom Jesus de Goiás	300.644	43.479.698,45	13.766.760	
	Campo Alegre de Goiás	352.724	49.668.780,27	15.676.187	
	Quirinópolis	113.629	17.319.094,97	5.516.770	
	Joviânia	106.527	15.930.940,12	5.063.750	
	Ipameri	494.761	68.886.671,27	21.711.573	
	Piracanjuba	331.419	50.202.258,19	15.980.206	
	Serranópolis	158.608	26.117.365,01	8.388.241	
	Cristalina	1.204.065	189.542.428,93	60.589.802	
	Vicentinópolis	108.895	16.674.263,92	5.314.088	
	Turvelândia	125.466	19.835.113,15	6.343.461	
	Caldas Novas	158.608	22.169.215,58	6.990.586	
	Montividiu	103.572	17.817.400,75	5.747.536	
	Chapadão do Céu	480.557	81.228.360,85	26.157.345	
	Orizona	43.190	6.582.981,14	2.096.924	
	Jataí	1.179.235	204.397.895,15	65.982.896	
	Morrinhos	153.873	22.655.699,50	7.188.398	
	Pontalina	156.240	24.012.672,78	7.655.975	
	Goiatuba	383.499	54.618.731,38	17.262.125	
	Santa Helena de Goiás	258.033	41.501.728,19	13.296.893	
51% RODOVIÁRIO		7.728.602	1.210.975.872	386.910.759	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Quadro 38 Resultados A08 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Uruaçu	115.997	6.644.269,96	1.725.054	FIGUEIRÓPOLIS, TO				
	Edéia	130.200	15.226.854,57	4.686.535					
	Itaberaí	94.691	8.378.563,27	2.454.170					
	Gameleira de Goiás	137.302	13.788.319,86	4.138.899					
	Caiapônia	317.215	42.232.448,11	13.235.654					
	Cabeceiras	146.771	16.643.131,66	5.098.324					
	Silvânia	206.309	21.557.993,78	6.516.359					
	Niquelândia	243.830	17.149.475,69	4.752.908					
	São João d'Aliança	187.015	17.877.007,43	5.317.576					
	Cristalina	71.897	8.379.191,94	2.577.607					
	Bela Vista de Goiás	94.691	10.045.026,70	3.044.102					
	Paraúna	591.819	69.829.820,53	21.520.792					
	Montes Claros de Goiás	170.444	18.686.454,35	5.693.699					
	Padre Bernardo	274.604	21.784.189,07	6.227.256					
	Água Fria de Goiás	201.219	18.083.066,29	5.313.740					
	Acreúna	243.830	30.798.294,13	9.584.625					
	Doverlândia	92.324	13.170.956,20	4.163.485					
	Palmeiras de Goiás	168.077	17.610.969,80	5.325.769					
	Luziânia	321.950	34.149.747,00	10.348.761					
	SUBTOTAL	3.810.185	402.035.780,31	121.725.313					
FERROVIÁRIO						1.824.603	200.122.457,04	49.490	ITAQUI - SÃO LUIZ, MA
						1.368.452	151.911.856,52	37.718	ILHÉUS, BA
						517.322	80.515.996,08	21.883	VITÓRIA, ES
						99.808	13.900.296,31	3.682	SANTOS, SP
SUBTOTAL						3.810.185	446.450.605,95	112.774	
(CONTINUA)									

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Silvânia	181.924	4.662.111,61	666.988	ANÁPOLIS, GO				
	Vianópolis	213.055	5.755.544,69	885.784					
SUBTOTAL		394.979	10.417.656,30	1.552.772					
FERROVIÁRIO						394.979	48.673.262,17	12.480	VITÓRIA, ES
SUBTOTAL						394.979	48.673.262,17	12.480	
RODO	Santa Cruz de Goiás	99.426	2.647.291,24	399.689	IPAMERI, GO				
	Orizona	139.090	3.955.289,05	648.315					
SUBTOTAL		238.516	6.602.580,29	1.048.004					
FERROVIÁRIO						238.516	20.047.269,80	4.450	SANTOS, SP
SUBTOTAL						238.516	20.047.269,80	4.450	
RODO	Rio Verde	1.848.844	28.231.833,52		RIO VERDE, GO				
	Montividiu	582.938	13.214.486,67	1.526.823					
SUBTOTAL		2.431.782	41.446.320,19	1.526.823					
FERROVIÁRIO						2.431.782	228.149.787,24	53.221	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.431.782	228.149.787,24	53.221	
RODO	Perolândia	196.484	10.768.630,63	2.750.006	SÃO SIMÃO, GO				
	Jataí	404.474	17.912.102,94	4.154.500					
SUBTOTAL		600.958	28.680.733,57	6.904.506					
FERROVIÁRIO						600.958	49.062.211,12	10.731	SANTOS, SP
SUBTOTAL						600.958	49.062.211,12	10.731	
49% RODO		7.476.420	489.183.070,65	132.757.419					
FERROVIÁRIO						7.476.420	792.383.136,28	193.657	
						7.476.420	1.281.566.206,93	132.951.076	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

- Resultados da otimização de 2035 - Amostra A15 Baixo valor de emissão de CO₂

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 15 estão relacionados no Quadro 39, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 40, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

Quadro 39 Resultados A15 - Municípios goianos ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Catalão	601.288	78.265.718,77	24.455.936	SANTOS, SP
	Mineiros	520.801	97.484.057,96	31.694.360	
	Edealina	118.364	18.743.030,18	5.995.251	
	Portelândia	120.731	23.102.159,95	7.525.599	
	Itumbiara	153.873	20.739.605,88	6.510.096	
	Bom Jesus de Goiás	300.644	43.479.698,45	13.766.760	
	Campo Alegre de Goiás	352.724	49.668.780,27	15.676.187	
	Quirinópolis	113.629	17.319.094,97	5.516.770	
	Joviânia	106.527	15.930.940,12	5.063.750	
	Ipameri	494.761	68.886.671,27	21.711.573	
	Piracanjuba	331.419	50.202.258,19	15.980.206	
	Serranópolis	158.608	26.117.365,01	8.388.241	
	Cristalina	526.118	82.820.803,82	26.474.790	
	Vicentinópolis	108.895	16.674.263,92	5.314.088	
	Turvelândia	125.466	19.835.113,15	6.343.461	
	Caldas Novas	158.608	22.169.215,58	6.990.586	
	Montividiu	103.572	17.817.400,75	5.747.536	
	Chapadão do Céu	480.557	81.228.360,85	26.157.345	
	Orizona	43.190	6.582.981,14	2.096.924	
	Jataí	1.179.235	204.397.895,15	65.982.896	
	Morrinhos	153.873	22.655.699,50	7.188.398	
	Pontalina	156.240	24.012.672,78	7.655.975	
	Goiatuba	383.499	54.618.731,38	17.262.125	
	Santa Helena de Goiás	258.033	41.501.728,19	13.296.893	
46% RODOVIÁRIO		7.050.655	1.104.254.247,25	352.795.748	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Quadro 40 Resultados A15 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto

TIPO DE TRANSPORTE		MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Uruaçu	115.997	6.644.269,96	1.725.054	FIGUEIRÓPOLIS, TO					
	Edéia	130.200	15.226.854,57	4.686.535						
	Itaberaí	94.691	8.378.563,27	2.454.170						
	Gameleira de Goiás	137.302	13.788.319,86	4.138.899						
	Caiapônia	317.215	42.232.448,11	13.235.654						
	Silvânia	206.309	21.557.993,78	6.516.359						
	Niquelândia	243.830	17.149.475,69	4.752.908						
	Cristalina	749.844	87.389.840,85	26.882.860						
	Bela Vista de Goiás	94.691	10.045.026,70	3.044.102						
	Paraúna	591.819	69.829.820,53	21.520.792						
	Montes Claros de Goiás	170.444	18.686.454,35	5.693.699						
	Padre Bernardo	274.604	21.784.189,07	6.227.256						
	Água Fria de Goiás	46.873	4.212.328,40	1.237.800						
	Acreúna	243.830	30.798.294,13	9.584.625						
	Doverlândia	92.324	13.170.956,20	4.163.485						
	Palmeiras de Goiás	168.077	17.610.969,80	5.325.769						
	Luziânia	321.950	34.149.747,00	10.348.761						
	SUBTOTAL		4.000.000	432.655.552,25		131.538.727				
	FERROVIÁRIO							1.336.471	146.584.096,48	36.250
						1.368.452	151.911.856,52	37.718	ILHÉUS, BA	
						517.322	80.515.996,08	21.883	VITÓRIA, ES	
						777.755	108.317.993,20	28.695	SANTOS, SP	
SUBTOTAL	(02) FIGUEIRÓPOLIS, TO --> PORTO (DESTINO)					4.000.000	487.329.942,28	124.546		

(CONTINUA)

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Cabeceiras	146.771	19.854.985,79	6.235.329	PORTO NACIONAL, TO				
	São João d'Aliança	187.015	20.454.301,56	6.229.945					
	Água Fria de Goiás	154.346	18.233.129,00	5.620.238					
SUBTOTAL		488.132	58.542.416,36	18.085.511					
FERROVIÁRIO						488.132	46.680.100,48	10.976	ITAQUI - SÃO LUIZ, MA
SUBTOTAL						488.132	46.680.100,48	10.976	
RODO	Silvânia	181.924	4.662.111,61	666.988	ANÁPOLIS, GO				
	Vianópolis	213.055	5.755.544,69	885.784					
SUBTOTAL		394.979	10.417.656,30	1.552.772					
FERROVIÁRIO						394.979	48.673.262,17	12.480	VITÓRIA, ES
SUBTOTAL						394.979	48.673.262,17	12.480	
RODO	Santa Cruz de Goiás	99.426	2.647.291,24	399.689	IPAMERI, GO				
	Orizona	139.090	3.955.289,05	648.315					
SUBTOTAL		238.516	6.602.580,29	1.048.004					
FERROVIÁRIO						238.516	20.047.269,80	4.450	SANTOS, SP
SUBTOTAL						238.516	20.047.269,80	4.450	
RODO	Rio Verde	1.848.844	28.231.833,52		RIO VERDE, GO				
	Montividiu	582.938	13.214.486,67	1.526.823					
SUBTOTAL		2.431.782	41.446.320,19	1.526.823					
FERROVIÁRIO						2.431.782	228.149.787,24	53.221	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.431.782	228.149.787,24	53.221	
(CONTINUA)									

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Perolândia	196.484	10.768.630,63	2.750.006	SÃO SIMÃO, GO				
RODO	Jataí	404.474	17.912.102,94	4.154.500	SÃO SIMÃO, GO				
SUBTOTAL		600.958	28.680.733,57	6.904.506	SÃO SIMÃO, GO				
FERROVIÁRIO					SÃO SIMÃO, GO	600.958	49.062.211,12	10.731	SANTOS, SP
SUBTOTAL					SÃO SIMÃO, GO	600.958	49.062.211,12	10.731	
54% RODO		8.154.367	578.345.258,95	160.656.344					
FERROVIÁRIO						8.154.367	879.942.573,09	216.405	
TOTAL						8.154.367	1.458.287.832,03	160.872.748	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

- Resultados da otimização de 2035 - Amostra A45 Menor emissão de CO₂ e maior frete

Os resultados de volume, frete e emissão de CO₂ obtidos na amostra 45 estão relacionados no Quadro 41, para as rotas rodoviárias (Municípios goianos ao porto) e no Quadro 42, para as rotas rodoferroviárias (Municípios goianos - transbordo - porto).

Quadro 41 Resultados A45 - Municípios goianos ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODOVIÁRIO	Catalão	601.288	78.265.718,77	24.455.936	SANTOS, SP
	Mineiros	520.801	97.484.057,96	31.694.360	
	Itumbiara	153.873	20.739.605,88	6.510.096	
	Bom Jesus de Goiás	300.644	43.479.698,45	13.766.760	
	Campo Alegre de Goiás	352.724	49.668.780,27	15.676.187	
	Quirinópolis	113.629	17.319.094,97	5.516.770	
	Joviânia	106.527	15.930.940,12	5.063.750	
	Ipameri	355.671	49.520.862,11	15.607.893	
	Serranópolis	158.608	26.117.365,01	8.388.241	
	Vicentinópolis	108.895	16.674.263,92	5.314.088	
	Turvelândia	125.466	19.835.113,15	6.343.461	
	Caldas Novas	158.608	22.169.215,58	6.990.586	
	Chapadão do Céu	480.557	81.228.360,85	26.157.345	
	Jataí	417.607	72.384.260,71	23.366.792	
	Morrinhos	153.873	22.655.699,50	7.188.398	
	Goiatuba	383.499	54.618.731,38	17.262.125	
	Santa Helena de Goiás	258.033	41.501.728,19	13.296.893	
31% RODOVIÁRIO		4.750.303	729.593.496,84	232.599.682	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

Quadro 42 Resultados A45 - Municípios goianos ao transbordo e transbordo ao porto

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
RODO	Edealina	118.364	17.679.124,40	5.618.626	PORTO NACIONAL, TO				
	Cabeceiras	146.771	19.854.985,79	6.235.329					
	São João d'Aliança	187.015	20.454.301,56	6.229.945					
	Cristalina	1.275.962	186.906.894,76	59.268.167					
	Montes Claros de Goiás	170.444	23.909.987,24	7.542.843					
	Montividiu	27.882	4.641.885,44	1.492.522					
	Água Fria de Goiás	201.219	23.770.248,07	7.327.017					
	Acreúna	243.830	38.270.823,68	12.229.920					
	Orizona	356	50.928,92	16.105					
	Doverlândia	92.324	16.000.374,95	5.165.106					
	Palmeiras de Goiás	168.077	22.761.962,12	7.149.234					
	Pontalina	156.240	23.141.829,63	7.347.695					
	SUBTOTAL	2.788.484	397.443.346,56	125.622.507					
FERROVIÁRIO						1.824.603	174.486.784,89	41.026	ITAQUI - SÃO LUIZ, MA
						963.881	147.782.188,50	40.033	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.788.484	322.268.973,39	81.059	
RODO	Vianópolis	213.055	5.755.544,69	885.784	ANÁPOLIS, GO				
	Orizona	181.924	6.102.635,67	1.176.937					
SUBTOTAL		394.979	11.858.180,36	2.062.722					
FERROVIÁRIO						394.979	48.673.262,17	12.480	VITÓRIA, ES
SUBTOTAL						394.979	48.673.262,17	12.480	

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMIÇÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
(CONTINUA)									
RODO	Uruaçu	115.997	6.644.269,96	1.725.054	FIGUEIRÓPOLIS, TO				
	Perolândia	196.484	29.170.843,10	9.264.437					
	Portelândia	120.731	19.201.694,33	6.144.824					
	Edéia	130.200	15.226.854,57	4.686.535					
	Itaberaí	94.691	8.378.563,27	2.454.170					
	Gameleira de Goiás	137.302	13.788.319,86	4.138.899					
	Caiapônia	317.215	42.232.448,11	13.235.654					
	Piracanjuba	331.419	36.910.829,76	11.275.006					
	Silvânia	388.233	40.567.908,32	12.262.507					
	Niquelândia	243.830	17.149.475,69	4.752.908					
	Bela Vista de Goiás	94.691	10.045.026,70	3.044.102					
	Paraúna	591.819	69.829.820,53	21.520.792					
	Montividiu	640.834	87.049.875,63	27.351.780					
	Padre Bernardo	274.604	21.784.189,07	6.227.256					
	Luziânia	321.950	34.149.747,00	10.348.761					
SUBTOTAL		4.000.000	452.129.865,88	138.432.685					
FERROVIÁRIO						1.368.452	151.911.856,52	37.718	ILHÉUS, BA
						517.322	80.515.996,08	21.883	VITÓRIA, ES
						2.114.226	294.448.255,02	78.003	SANTOS, SP
SUBTOTAL						4.000.000	526.876.107,62	137.604	
RODO	Santa Cruz de Goiás	99.426	2.647.291,24	399.689	IPAMERI, GO				
	Ipameri	139.090	2.123.903,22						
SUBTOTAL		(01) PRODUTOR --> IPAMERI, GO (02)	238.516	4.771.194,46					
FERROVIÁRIO						238.516	20.047.269,80	4.450	SANTOS, SP
SUBTOTAL		(02) IPAMERI, GO --> PORTO (DESTINO)				238.516	20.047.269,80	4.450	

TIPO DE TRANSPORTE	MUNICÍPIOS GOIANOS	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	TRANSBORDO	VOLUME (T)	FRETE (REAIS)	EMISSÃO DE CO ₂ (T)	PORTO
(CONTINUA)									
RODO	Rio Verde	1.848.844	28.231.833,52		RIO VERDE, GO				
	Montividiu	17.794	403.374,93	46.607					
	Jataí	565.144	16.419.792,19	2.757.699					
SUBTOTAL		2.431.782	45.055.000,64	2.804.305					
FERROVIÁRIO						2.431.782	228.149.787,24	53.221	SANTOS, SP
SUBTOTAL						2.431.782	228.149.787,24	53.221	
RODO	Jataí	600.958	26.613.383,20	6.172.658	SÃO SIMÃO, GO				
SUBTOTAL		600.958	26.613.383,20	6.172.658					
FERROVIÁRIO						600.958	49.062.211,12	10.731	SANTOS, SP
SUBTOTAL						600.958	49.062.211,12	10.731	
69% RODO		10.454.719	937.870.971,10	275.494.566					
FERROVIÁRIO						10.454.719	1.195.077.611,34	299.546	
TOTAL		10.454.719	937.870.971,10	275.494.566		10.454.719	1.195.077.611,34	299.546	

Fonte: Informações sintetizadas pela autora no software excel

APÊNDICE B: TERMINAL DE RIO VERDE - GOIÁS

Segundo terminal a iniciar a operação após o início da operação da malha RMC (Rumo Malha Central). Neste terminal é feito o transbordo de soja e de farelo de soja que tem destino o porto de Santos (SP).

Há que se comentar que no ano de 2022 foi o porto com maior movimentação de cargas para transporte ferroviário no estado de Goiás.

Esta estação está localizada na malha RMC - Rumo Malha Central (concessionada para a Rumo - terminais de cargas nos municípios de Rio Verde/GO e São Simão/GO).

Nos trajetos com origem o município de Rio Verde/GO), os vagões hopper fazem o transporte de Adubo orgânico a granel, cloreto de potássio, fosfato, ureia na volta para o terminal de Rio Verde, na malha RMC (RMC), com as seguintes rotas de origem destino:

- Origem Rio Verde/GO e Destino Guarujá/SP (Conceiçãozinha);
- Origem Rio Verde/GO e Destino Santos/SP (Estação TUF), e;
- Origem Rio Verde/GO e Destino Santos/SP.

As figuras do Terminal Ferroviário de Rio Verde (GO), apresentadas a seguir, foram obtidas do material, disponibilizado com a plateia, de apresentação da Rumo (2023a) no Workshop de 08/03/23 da Goinfra.

TRV com as divisões de etapas: Portaria, Classificação, Balança, Tulhas, Armazéns, Tombadores, Pátio e Balança de saída



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

TRV Andali e DTC Ipiranga – terminais de fertilizantes?



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

TRV Recebimento: Balança/entrada, Pátio, Classificação, Tombadores e Balança/saída



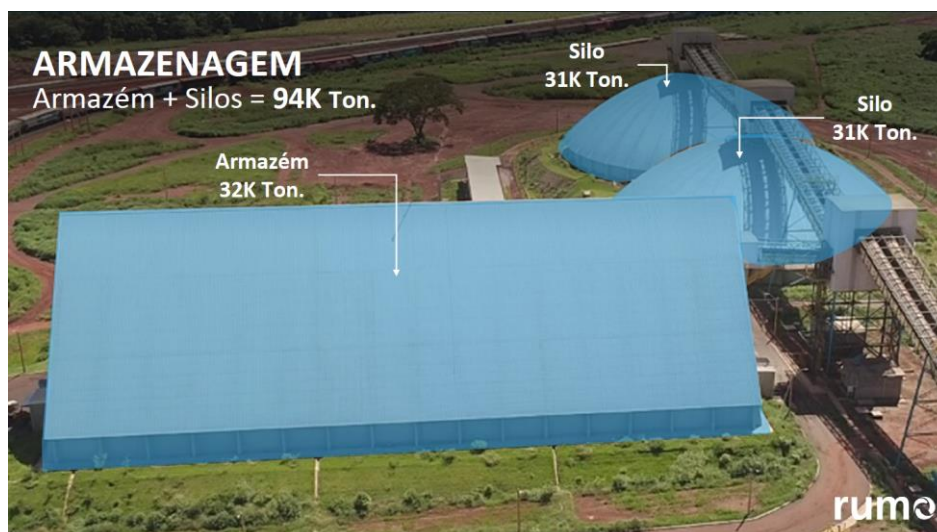
Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

TRV Tombadores – descarga de 56 caminhões/hora



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

TRV Armazenagem Armazém 32k Ton. + 2 Silos de 31k Ton cada = 94k Ton



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)

TRV Expedição: Tulha ferroviária – 14 vagões/hora



Fonte: Material de apresentação da Rumo no Workshop (Rumo, 2023a)