

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

MARIA LUIZA BAMBIL NOGUEIRA

**O DILEMA LOGÍSTICO-AMBIENTAL DO AGRONEGÓCIO SUL-MATO-
GROSSENSE: Análise comparativa da pegada de carbono na exportação de grãos pelas
rotas do Atlântico e Bioceânica**

UFMS

Campo Grande - MS
2026

MARIA LUIZA BAMBIL NOGUEIRA

**O DILEMA LOGÍSTICO-AMBIENTAL DO AGRONEGÓCIO SUL-MATO-
GROSSENSE: Análise comparativa da pegada de carbono na exportação de grãos pelas
rotas do Atlântico e Bioceânica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas, sob orientação da Professora Dra. Gercina Gonçalves da Silva.

Campo Grande – MS

2026

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado O DILEMA LOGÍSTICO-AMBIENTAL DO AGRONEGÓCIO SUL-MATO-GROSSENSE: Análise comparativa da pegada de carbono na exportação de grãos pelas rotas do Atlântico e Bioceânica, apresentado por MARIA LUIZA BAMBIL NOGUEIRA como exigência parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso e demais requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas a Professora Orientadora, dentro do prazo legal e com as formalidades exigidas, sendo considerado _____.

Campo Grande-MS, 10 de junho de 2026.

Prof. Dra. Gercina Gonçalves da Silva – Presidente

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Me. Dyllmar Alves de Sousa - Membro

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. José Alexandre dos Santos – Membro

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e resiliência para percorrer esta jornada acadêmica e concluir mais esta importante etapa da minha trajetória.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio incondicional, amor e por sempre acreditarem nos meus sonhos, sendo o alicerce fundamental em todos os momentos da minha vida.

À minha orientadora, Prof. Dra. Gercina Gonçalves da Silva, pela paciência, excelência profissional e pelas valiosas correções que guiaram a construção e o refinamento desta pesquisa.

Aos professores, pesquisadores e colegas que cruzaram o meu caminho, pelas trocas de conhecimento e pelo incentivo constante à produção científica de qualidade.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a materialização deste trabalho, meu muito obrigada.

RESUMO

A dinâmica do comércio internacional de *commodities* agrícolas impõe constantes desafios logísticos e ambientais ao agronegócio do Estado de Mato Grosso do Sul. A tradicional dependência do escoamento de grãos pelo Oceano Atlântico, via Porto de Santos (SP), gera elevados tempos de trânsito e passivos ambientais. Nesse contexto, a Rota Bioceânica (Corredor Biocênico de Capricórnio) surge como um novo eixo logístico estratégico, ligando o Centro-Oeste brasileiro aos portos do norte do Chile para encurtar a distância marítima até o mercado asiático. O presente estudo teve como objetivo calcular e comparar a pegada de carbono da exportação de uma tonelada de grãos (soja/milho) em dois cenários: a Rota do Atlântico e a Rota Bioceânica, avaliando o *trade-off* entre eficiência logística e ambiental. A metodologia baseou-se em uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) simplificada de caráter quantitativo, utilizando parâmetros de roteirização da plataforma SeaRates e fatores de emissão do Programa Brasileiro *GHG Protocol* e de armadores marítimos. Os resultados revelam um importante *trade-off* operacional no cenário atual: embora a Rota Bioceânica encurte a distância geográfica em 491 km, as restrições atuais de conectividade portuária no Chile elevam o tempo de trânsito real para uma média de 60 dias totais, frente aos 39 dias observados na rota tradicional via Santos. No aspecto ambiental, a pegada de carbono registra um incremento de 48,23% (aumentando de 186,162 kgCO_{2e}/t para 275,953 kgCO_{2e}/t), motivada pela maior extensão do trecho rodoviário continental. Conclui-se que, sob a atual matriz de transporte baseada em caminhões a diesel, impõe um aumento relevante da pegada de carbono, indicando que a integração do modal ferroviário pode ser essencial para que o Estado alcance a meta Carbono Neutro 2030.

Palavras-chave: Rota Bioceânica. Pegada de Carbono. Mato Grosso do Sul. Logística e Gases de Efeito Estufa.

ABSTRACT

The dynamics of international trade in agricultural commodities impose constant logistical and environmental challenges on agribusiness in the state of Mato Grosso do Sul. The traditional reliance on grain export through the Atlantic Ocean, via the Port of Santos (SP), generates high transit times and environmental liabilities. In this context, the Bioceanic Route (Capricorn Route) emerges as a new strategic logistical axis, connecting the Brazilian Midwest to northern Chilean ports to shorten the maritime distance to the Asian market. The present study aimed to calculate and compare the carbon footprint of exporting one ton of grains (soybeans/corn) under two scenarios: the Atlantic Route and the Bioceanic Route, evaluating the trade-off between logistical and environmental efficiency. The methodology was based on a simplified quantitative Life Cycle Assessment (LCA), using routing parameters from the SeaRates platform and emission factors from the Brazilian GHG Protocol Program and maritime carriers. The results reveal an important operational trade-off in the current scenario: although the Bioceanic Route shortens the geographical distance by 491 km, current port connectivity constraints in Chile increase the actual transit time to an average of 60 total days, compared to the 39 days observed in the traditional route via Santos. Regarding the environmental aspect, the carbon footprint registers an increase of 48.23% (jumping from 186.162 kgCO_{2e}/t to 275.953 kgCO_{2e}/t), driven by the longer extension of the continental road section. It is concluded that, under the current transport matrix based on diesel trucks, the physical shortcut imposes a serious environmental setback, making the integration of the railway mode an obligation for the state to achieve the Carbon Neutral 2030 goal.

Key-words: Bioceanic Route. Carbon Footprint. Mato Grosso do Sul. Logistics and Greenhouse Gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distância Terrestre (d_{rod}) (Rodoviário - caminhão) de Dourados/MS para Santos/SP	11
Figura 2 – Distância Marítima (d_{mar}) do Porto de Santos/SP (Brasil) para o Porto de Xangai (China)	12
Figura 3 – Distância Terrestre (d_{rod}) (Rodoviário - caminhão) de Dourados/MS para o Porto de Antofagasta (Chile)	13
Figura 4 – Distância Marítima (d_{mar}) do Porto de Antofagasta (Chile) para o Porto de Xangai (China)	14
Figura 5 – Resultado do simulador demonstrando a conectividade portuária para a viagem completa entre os armadores operantes: a) Rota Santos para Xangai, b) Rota Antofagasta para Xangai.....	15
Figura 6 – Resultado do simulador demonstrando o valor da emissão absoluta (Total de CO ₂) para a viagem completa entre os armadores operantes: a) Rota Santos para Xangai, b) Rota Antofagasta para Xangai.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros logísticos e cálculo de emissões desagregados por modal de transporte nas rotas do Atlântico e Bioceânica	19
Tabela 2 – Comparativo consolidado de distância, tempo de trânsito e pegada de carbono total entre as rotas do Atlântico e Bioceânica	20
Tabela 3 – Comparativo do tempo de trânsito marítimo dos armadores operantes em comum nas rotas do Atlântico e Bioceânica.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 METODOLOGIA	9
2.1 Definição dos Cenários de Estudo	10
2.2 Detalhamento Logístico dos Cenários	10
2.2.1 Cenário 1: Rota do Atlântico	11
2.2.2 Cenário 2: Rota Bioceânica de Capricórnio	12
2.2.3 Estimativa de Tempo de Trânsito (<i>Transit Time Real</i>)	14
2.3 Modelagem Matemática das Emissões	16
2.4 Levantamento de Variáveis e Parâmetros.....	16
2.4.1 Fator de Emissão Rodoviário (F_{rod}).....	16
2.4.2 Fator de Emissão Marítimo (F_{mar}).....	17
3 RESULTADOS	19
3.1 Análise Comparativa de Distâncias e Vantagem de Tempo (<i>Transit Time</i>)	20
3.2 Análise Quantitativa Total: Impacto No Orçamento De Carbono.....	21
3.3 Análise de Desempenho Logístico Real por Armador.....	22
4 DISCUSSÃO	23
5 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica do comércio internacional de *commodities* agrícolas impõe constantes desafios logísticos ao agronegócio brasileiro. O Estado de Mato Grosso do Sul, consolidado como um dos maiores produtores de soja e milho do país, historicamente depende do escoamento de suas safras pelos portos das regiões Sul e Sudeste, como o complexo portuário de Santos (SP). Essa dependência do modal rodoviário para alcançar a costa do Oceano Atlântico e a subsequente longa travessia marítima até o mercado asiático geram elevados custos financeiros, gargalos temporais e significativos passivos ambientais associados à queima de combustíveis fósseis (Huertas; Fonseca, 2025; Santos; Junior; Matos, 2023).

Nesse cenário de busca por eficiência, emerge o projeto do corredor Bioceânico, formalmente inserido pelo plano federal de Rotas de Integração Sul-Americana sob a denominação de "Corredor Bioceânico de Capricórnio" (MPO, 2024). Este novo eixo logístico estratégico estabelece uma ligação física e direta entre o Centro-Oeste brasileiro e o cordão portuário do norte do Chile (notadamente os portos de Antofagasta e Iquique), desembocando no Oceano Pacífico. O marco que viabiliza definitivamente esta integração é a construção da ponte binacional sobre o rio Paraguai, em Porto Murtinho (MS), reconfigurando a geografia comercial e a economia de exportação sul-americana (Ecoa, 2020; Mato Grosso Do Sul, 2026).

O problema de pesquisa deste estudo consiste em responder: **de que maneira a consolidação do Corredor Bioceânico de Capricórnio impacta o *transit time* das exportações sul-mato-grossenses com destino ao mercado asiático?** A relevância dessa análise fundamenta-se na hipótese de que o direcionamento da carga via portos do Chile reduz drasticamente a extensão da navegação marítima tradicional, otimizando o fluxo logístico do estado.

As abordagens desenvolvimentistas e o senso comum do setor produtivo partem da seguinte premissa: *a economia espacial gerada pelo encurtamento de milhares de quilômetros no trajeto marítimo reduzirá drasticamente o consumo global de combustíveis fósseis, diminuindo a pegada de carbono total por tonelada exportada e fazendo com que a soja do MS chegue à China como um "produto mais limpo".*

Contudo, a literatura científica aponta uma profunda assimetria de eficiência de carbono entre os modais de transporte. Enquanto o modal marítimo transoceânico é altamente eficiente

em termos de CO₂ (Svindland; Hjelle, 2019), o modal rodoviário apresenta maiores índices de emissão de GEE em comparação aos modais ferroviário e marítimo (Nusa; Kodak, 2023). Como a nova rota aumentará a extensão e a severidade do percurso de caminhão (exigindo a travessia do Chaco e a transposição da Cordilheira dos Andes), surge o problema central desta pesquisa: a eficiência temporal e o encurtamento oceânico obtidos na Rota Bioceânica são suficientes para compensar as emissões geradas pelo aumento do trajeto rodoviário?

O objetivo geral deste estudo é calcular e comparar a pegada de carbono da exportação de uma tonelada de grãos (soja/milho) em dois cenários distintos: a rota tradicional do Atlântico e a nova Rota Bioceânica (Corredor Biocênico de Capricórnio), avaliando o *trade-off* (conflito de escolhas) logístico e ambiental.

A justificativa e a relevância desta análise ancoram-se nas políticas públicas do Governo do Estado, especificamente no programa estratégico "Estado Carbono Neutro 2030" (Mato Grosso Do Sul, 2023). O estado tem adotado rigorosos inventários baseados no *GHG Protocol* para certificar a sustentabilidade do seu agronegócio. Assim, é imperativo que a engenharia logística acompanhe as metas climáticas. O estudo visa validar metodologicamente se os ganhos operacionais do Corredor Biocênico de Capricórnio efetivamente ajudam o Estado a transformar seu grão em um produto com diferencial competitivo verde, ou se a dependência exclusiva de caminhões nesta rota impõe um revés ambiental.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo quantitativo e comparativo focado na estimativa comparativa de emissões logísticas do transporte de commodities agrícolas (soja e milho). O objetivo metodológico é calcular e comparar a pegada de carbono do escoamento de uma tonelada de grãos originada no Mato Grosso do Sul com destino ao mercado asiático, utilizando duas rotas logísticas distintas.

Para garantir a transparência e o rigor metodológico, ressalta-se que os resultados desta pesquisa representam simulações logísticas e extrações de dados obtidas no mês de maio de 2026. A escolha da plataforma *SeaRates* para a parametrização justifica-se por ser um dos maiores sistemas globais integrados de frete digital, oferecendo alta confiabilidade ao cruzar rotas geográficas reais com dados empíricos de tempo de trânsito das principais companhias de navegação mundiais (*Carrier Analytics*). Quanto às limitações do estudo, destaca-se que a

Análise de Ciclo de Vida (ACV) simplificada concentrou-se exclusivamente nas emissões diretas (combustão) da etapa de movimentação de cargas.

O modelo reflete um cenário logístico estático, baseado na matriz predominante de caminhões a diesel e na conectividade portuária vigente no Chile nesta data. Portanto, o cálculo não engloba emissões indiretas como desmatamento ou ociosidade em filas aduaneira tampouco projeta os impactos mitigatórios de futuras implementações ferroviárias na região.

2.1 Definição dos Cenários de Estudo

Para isolar as variáveis geográficas e logísticas de forma de objetiva, o estudo fixa o município de Dourados/MS como polo produtor de origem e o Porto de Xangai, na China, como destino final. A análise é estruturada em dois cenários estáticos:

Cenário 1 (Rota do Atlântico - *Baseline*): Contempla o escoamento tradicional do agronegócio sul-mato-grossense. A carga parte de Dourados/MS via modal rodoviário até o Porto de Santos/SP. A partir do complexo portuário de Santos, a *commodity* é transportada via modal marítimo pelo Oceano Atlântico até o Porto de Xangai.

Cenário 2 (Rota Bioceânica - Rota do Pacífico): Simula o novo corredor logístico de integração sul-americana. A carga parte de Dourados/MS via modal rodoviário, cruza a fronteira internacional pela ponte binacional em Porto Murtinho/MS, atravessa o Chaco Paraguai e o norte da Argentina até atingir o Porto de Antofagasta, no Chile. A partir do litoral chileno, o transporte segue via modal marítimo direto pelo Oceano Pacífico até o Porto de Xangai.

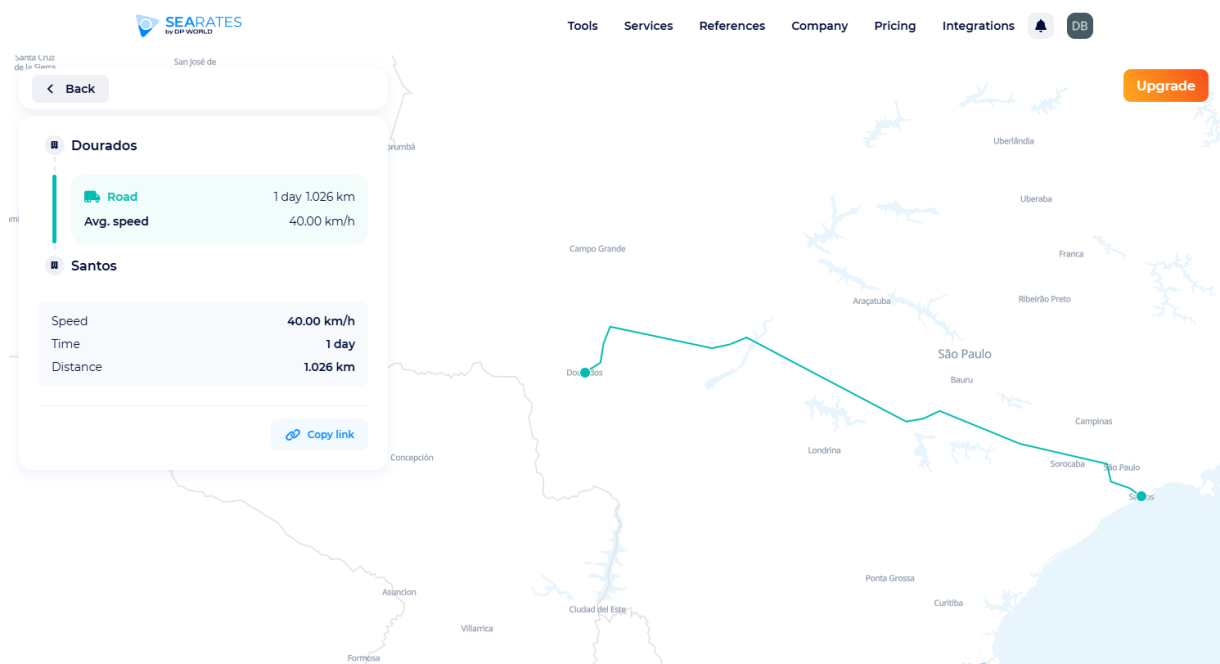
2.2 Detalhamento Logístico dos Cenários

Os dados de roteirização geográfica, distâncias continentais e oceânicas, bem como os tempos estimados de trânsito, foram obtidos em maio de 2026 por meio das ferramentas de cálculo de frete da plataforma SeaRates 2026 (Disponível em: SeaRates Distance-Time).

2.2.1 Cenário 1: Rota do Atlântico

Este cenário mapeia o padrão histórico de transporte do estado. No trecho terrestre (d_{rod}), a carga é embarcada nos silos na região polo de Dourados/MS e segue pelas rodovias federais e estaduais em direção leste/sudeste, cruzando a transição de planalto e serra até o Porto de Santos/SP. Esse segmento soma 1.026 km de extensão terrestre, demandando aproximadamente 1 dia de trânsito contínuo para veículos de carga pesada (SeaRates, 2026 – Figura 1).

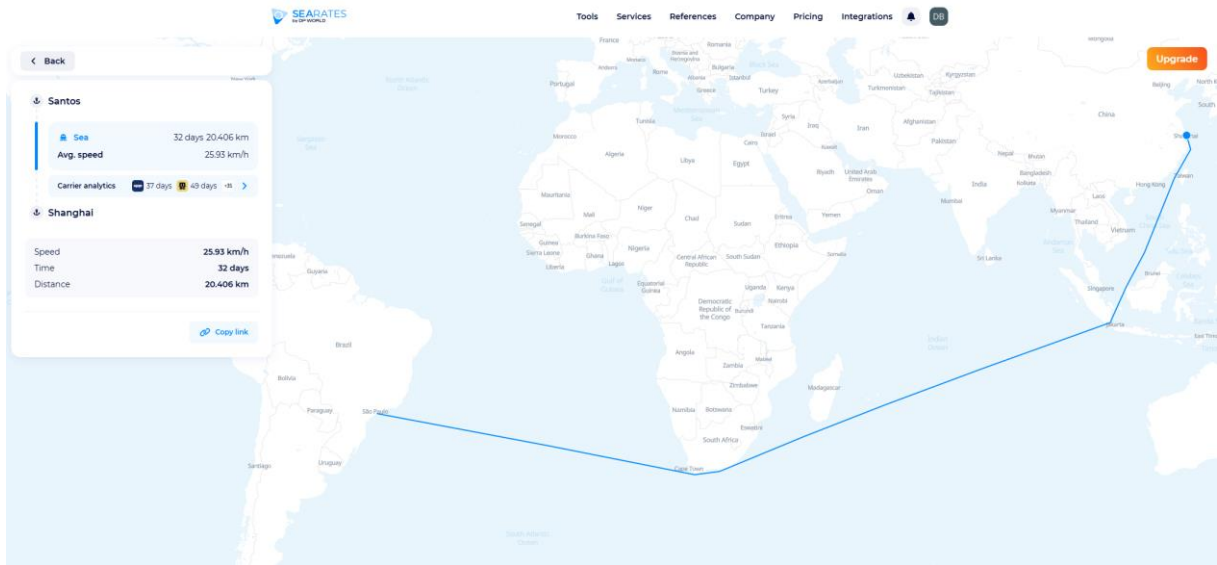
Figura 1. Distância Terrestre (d_{rod}) (Rodoviário - caminhão) de Dourados/MS para Santos/SP.



Fonte: SeaRates Distance-Time (2026).

No trecho marítimo (d_{mar}), o navio graneleiro zarpa de Santos/SP e cruza o Oceano Atlântico, contornando o continente africano pelo Cabo da Boa Esperança ou utilizando o Canal do Panamá, dependendo das especificações técnicas da embarcação, até aportar em Xangai, na China. Este percurso totaliza uma longa navegação de 20.406 km, com tempo de trânsito marítimo estimado em 32 dias (SeaRates, 2026 – Figura 2).

Figura 2. Distância Marítima (d_{mar}) do Porto de Santos/SP (Brasil) para o Porto de Xangai (China).

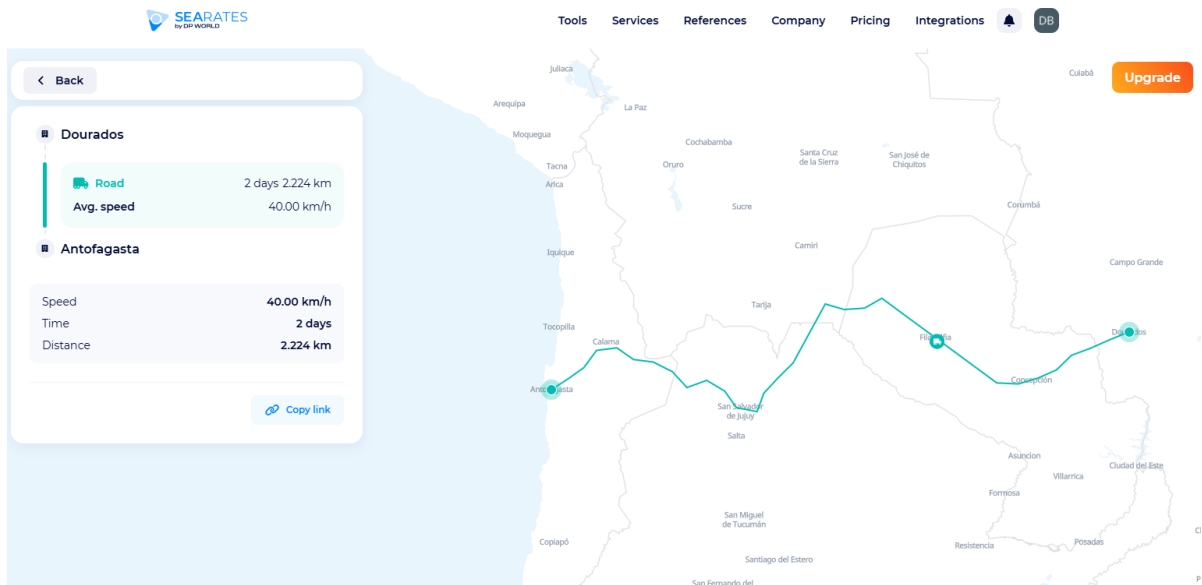


Fonte: SeaRates Distance-Time (2026).

2.2.2 Cenário 2: Rota Bioceânica de Capricórnio

Este cenário delinea o novo fluxo de comércio exterior da região. No trecho terrestre (d_{rod}), a rota direciona-se a oeste/sudoeste a partir de Dourados/MS até Porto Murtinho/MS, onde realiza-se a travessia transfronteiriça. O trajeto continental segue pelo Chaco Paraguaio (eixo Carmelo Peralta a Loma Plata), ingressa em território argentino pelas províncias de Salta e Jujuy, realiza a transposição da Cordilheira dos Andes pelo Paso de Jama e descende ao litoral chileno no Porto de Antofagasta. O segmento rodoviário totaliza 2.224 km, com elevada variação altimétrica em um tempo estimado de 2 dias (SeaRates, 2026 – Figura 3).

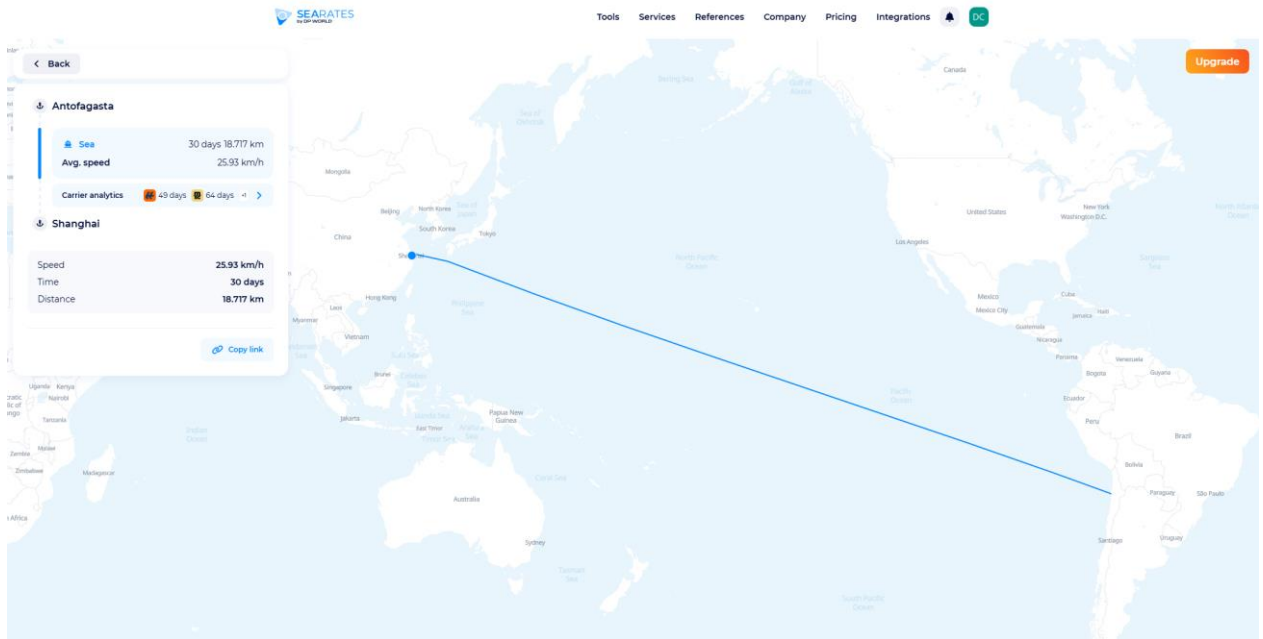
Figura 3. Distância Terrestre (d_{rod}) (Rodoviário - caminhão) de Dourados/MS para o Porto de Antofagasta (Chile).



Fonte: SeaRates Distance-Time (2026).

No trecho marítimo (d_{mar}), a mercadoria é estivada no Porto de Antofagasta, de onde a embarcação segue por rota transpácífica direta rumo ao Porto de Xangai, na China. Devido à rota direta transpácífica, a extensão marítima é reduzida para 18.717 km, completando o percurso oceânico em 30 dias (SeaRates, 2026 – Figura 4).

Figura 4. Distância Marítima (d_{mar}) do Porto de Antofagasta (Chile) para o Porto de Xangai (China).



Fonte: SeaRates Distance-Time (2026).

2.2.3 Estimativa de Tempo de Trânsito (*Transit Time Real*)

Para além do cálculo teórico de distância geográfica, esta pesquisa inovou ao adotar o Carrier Analytics (Análise de Operadores) da plataforma SeaRates (2026) para aferir o tempo de trânsito marítimo real. Em vez de utilizar a velocidade teórica contínua, extraíram-se os tempos de viagem efetivos praticados pelos armadores comerciais operantes em cada rota.

No Cenário 1 (via Santos), identificou-se uma conectividade portuária com 37 empresas operantes (variando de 32 a 55 dias de trânsito - Figura 5). Para o cálculo, adotou-se a média aritmética simples destas operações, resultando em 38 dias marítimos. No Cenário 2 (via Antofagasta), identificou-se uma conectividade com 3 armadores disponíveis (Hapag-Lloyd, NileDutch e MSC - Figura 5). A média real obtida para este trecho foi de 58 dias de navegação.

Figura 5. Resultado do simulador demonstrando a conectividade portuária para a viagem completa entre os armadores operantes: a) Rota Santos para Xangai, b) Rota Antofagasta para Xangai.



Fonte: Adaptado de SeaRates Carrier Analytics (2026).

2.3 Modelagem Matemática das Emissões

A pegada de carbono total gerada pelo transporte de uma tonelada de grão (E_{total}) em cada cenário é mensurada por meio do somatório do desempenho ambiental de cada modal. As distâncias foram expressas em quilômetros e os fatores de emissão em $kgCO_2e/t \cdot km$. A equação linear de cálculo aplicada é:

$$\text{Onde: } E_{total} = (d_{rod} \cdot F_{rod}) + (d_{mar} \cdot F_{mar})$$

- E_{total} é a emissão total expressa em quilogramas de dióxido de carbono equivalente por tonelada transportada ($kgCO_2e/t$)
- d_{rod} e d_{mar} representam as distâncias percorridas em quilômetros nos modais rodoviário e marítimo, respectivamente.
- F_{rod} e F_{mar} correspondem aos fatores de emissão específicos de cada modal de transporte ($kgCO_2e/t \cdot km$).

2.4 Levantamento de Variáveis e Parâmetros

A modelagem quantitativa depende da coleta e parametrização de quatro variáveis primárias obtidas por meio de ferramentas de roteirização logística e protocolos oficiais de inventários de emissões. Distância Terrestre (d_{rod}): quilometragem rodoviária total do trecho entre Dourados-Santos (Cenário 1) e Dourados-Antofagasta (Cenário 2), mensurada por sistemas de geoprocessamento (SeaRates, 2026). Distância Marítima (d_{mar}): Distância naval total dos trechos Santos-Xangai e Antofagasta-Xangai, aferida originalmente em milhas náuticas e convertida para quilômetros para a padronização das unidades (SeaRates, 2026).

2.4.1 Fator de Emissão Rodoviário (F_{rod})

O modal rodoviário caracteriza-se por sua intensidade energética e maior taxa de emissão relativa por unidade de carga transportada, representando o principal vetor de impacto ambiental na logística continental terrestre. O fator de emissão rodoviário adotado neste estudo $0,082 kgCO_2e/t \cdot km$ foi parametrizado com base nas diretrizes metodológicas do Programa Brasileiro GHG Protocol, desenvolvido pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da

Fundação Getulio Vargas (FGVces), amplamente utilizado no Brasil para inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa (FGVces, 2026).

Para fins de padronização metodológica, assumiu-se a utilização de caminhões pesados do tipo bitrem/graneleiro movidos a diesel S10, operando com carga completa e padrão tecnológico compatível com a frota predominante do transporte rodoviário de *commodities* agrícolas no Brasil. O fator empregado representa uma média de emissão por tonelada-quilômetro transportada, considerando as emissões diretas provenientes da combustão de óleo diesel. Ressalta-se que variáveis operacionais como idade da frota, padrão EURO de emissões, condições topográficas, eficiência energética do motor e taxa efetiva de ocupação podem influenciar os valores absolutos de emissão, embora a adoção de um fator médio consolidado permita garantir comparabilidade metodológica entre os cenários logísticos analisados (Simão; Scariot; Cezne, 2022).

2.4.2 Fator de Emissão Marítimo (F_{mar})

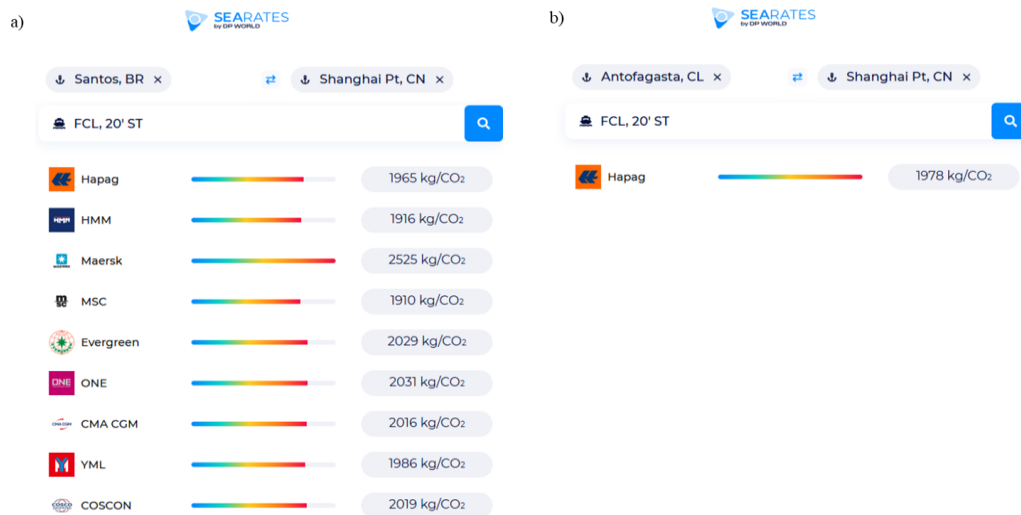
A média de emissões ($kgCO_2e/t \cdot km$) para navios cargueiros transoceânicos de grande porte, validada por dados empíricos de armadores internacionais. O modal marítimo caracteriza-se pela sua elevada eficiência energética e diluição de emissões devido à economia de escala em navios de grande porte. Para a modelagem quantitativa deste estudo, adotou-se inicialmente o fator de emissão padrão da literatura e de protocolos internacionais (como o GLEC Framework) estipulado em $0,005 kgCO_2e/t \cdot km$ para navios graneleiros/porta-contêineres transoceânicos.

A fim de atestar a validade e a acurácia deste parâmetro teórico frente à realidade logística da pesquisa, realizaram-se simulações empíricas para as duas rotas estudadas, utilizando a calculadora de emissões da plataforma SeaRates (Disponível em: SeaRates Carbon-Emissions-Calculator), assumindo como volume de carga o padrão de 1 contêiner cheio (20 toneladas de capacidade útil). Ressalta-se que foi utilizado contêiner apenas como unidade padronizada do simulador; e não como representação literal da operação real.

Para o Cenário 1 (Rota do Atlântico): No trajeto do Porto de Santos/SP ao Porto de Xangai/China (20.406 km), o simulador forneceu o valor da emissão absoluta (Total de CO_2) para a viagem completa. Dentre os diversos armadores operantes na rota, a plataforma retornou uma emissão média global de 2.044,11 kg de CO_2 (Figura 6). Para o Cenário 2 (Rota Bioceânica): No trajeto do Porto de Antofagasta/Chile ao Porto de Xangai/China (18.717 km),

devido à especificidade do trecho transpacífico, a plataforma consolidou a operação de um único armador direto (Hapag-Lloyd), registrando uma emissão de 1.978 kg de CO₂ (Figura 6).

Figura 6. Resultado do simulador demonstrando o valor da emissão absoluta (Total de CO₂) para a viagem completa entre os armadores operantes: a) Rota Santos para Xangai, b) Rota Antofagasta para Xangai.



Fonte: Adaptado de SeaRates Carbon Emissions Calculator (2026).

Uma vez que a metodologia da Análise de Ciclo de Vida exige a métrica fracionada, foi necessário converter as emissões absolutas fornecidas pela plataforma para o fator relativo estipulado no estudo. A conversão (F_{mar}) é dada pela razão entre a Emissão Total e o produto do peso da carga pela distância percorrida, conforme a equação:

$$F_{mar} = \frac{\text{Emissão Total (kg)}}{\text{Peso (t)} \times \text{Distância (km)}}$$

Aplicando os dados logísticos extraídos à equação, obtiveram-se os seguintes fatores práticos para cada rota:

Fator Cenário 1:

$$F_{mar} = \frac{2044,11}{20 \times 20406} = 0,005008 \text{ kgCO}_2\text{e/t} \cdot \text{km}$$

Fator Cenário 2:

$$F_{mar} = \frac{1.978}{20 \times 18717} = 0,00528 \text{ kgCO}_2\text{e/t} \cdot \text{km}$$

Ambos os resultados dos cálculos empíricos, quando arredondados à terceira casa decimal (0,005 kgCO₂e/t· km), mostraram elevada convergência ao parâmetro teórico adotado. Desta forma, comprova-se a rigidez e a validade científica da variável parametrizada para a modelagem matemática em ambos os cenários de escoamento.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da modelagem matemática e da consolidação dos dados logísticos revelam um importante *trade-off* (conflito de escolha) entre eficiência temporal e sustentabilidade ambiental ao comparar os dois corredores de exportação da soja sul-mato-grossense (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros logísticos e cálculo de emissões desagregados por modal de transporte nas rotas do Atlântico e Bioceânica.

Rota	Modal	Origem e Rota	Destino Final	Distância (km)	Fator de Emissão (kgCO ₂ e / t.km)	Total Emissão de CO ₂ por rota	Dias	Média de dias de acordo com análise de operadores
Atlântico	Rod	Dourados (MS)	Porto de Santos/SP	1.026	0,082	84,132	1	1
Atlântico	Mar	Porto de Santos/SP	Porto de Xangai (China)	20.406	0,005	102,03	32	38

Bioceânica	Rod	Dourados (MS) para Porto Murtinho	Porto de Antofagasta (Chile)	2.224	0,082	182,368	2	2
Bioceânica	Mar	Porto de Antofagasta (Chile)	Porto de Xangai (China)	18.717	0,005	93,585	30	58

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.1 Análise Comparativa de Distâncias e Vantagem de Tempo (*Transit Time*)

A análise geográfica das rotas consolidadas na Tabela 2 confirma que a Rota Bioceânica apresenta vantagem potencial no tempo de trânsito quando considerada apenas a distância geográfica. Ao direcionar a carga para o Chile, a viagem completa até a China totaliza 32 dias, tornando-se mais vantajosa e rápida do que a rota tradicional pelo Atlântico, que demanda 33 dias. Todavia, de acordo com análise de operadores a rota pelo Atlântico pode durar em média 39 dias e pela rota bioceânica 60 dias.

Tabela 2. Comparativo consolidado de distância, tempo de trânsito e pegada de carbono total entre as rotas do Atlântico e Bioceânica.

Rota	Trajeto Completo	Distância Total (km)	Tempo Total (Dias)	Pegada de Carbono Total (kgCO₂ e/t)	Média de tempo total dias de acordo com análise de operadores
Atlântico	Dourados → Santos → Xangai	21.432	33	186.162	39
Bioceânica	Dourados → Chile → Xangai	20.941	32	275.953	60

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa economia de um dia de viagem é reflexo direto do encurtamento da distância global. No Cenário 1 (Rota do Atlântico via Santos), o trajeto totaliza 21.432 km. Já no Cenário 2 (Rota Bioceânica via Antofagasta), o percurso cai para 20.941 km, gerando uma economia física de 491 km. O ganho ocorre porque a navegação transpacífica (em linha reta) corta milhares de quilômetros de oceano. No entanto, para alcançar essa vantagem no mar, o caminhão precisa rodar mais que o dobro na terra (saltando de 1.026 km no Brasil para 2.224 km cruzando a Cordilheira dos Andes).

3.2 Análise quantitativa total: impacto no orçamento de carbono

Apesar de a Rota Bioceânica ser mais curta e vantajosa em dias, os resultados apontam que apresenta maior intensidade de emissões do agronegócio. A análise dos totais na Tabela 2 demonstra que a eficiência de tempo não se traduz em eficiência ambiental.

Ao avaliar a Pegada de Carbono Total consolidada, o Cenário 1 (Atlântico) emite um total de 186,162 kgCO_{2e} por tonelada. Mesmo sendo uma rota demorada, 54,8% dessa emissão ocorre no navio, que é um modal de altíssima eficiência energética.

Em contrapartida, o Cenário 2 (Bioceânica) emite um total expressivo de 275,953 kgCO_{2e} por tonelada. A Rota Bioceânica apresenta maior intensidade de emissões porque transfere o peso logístico para o caminhão. Como o fator de emissão do modal rodoviário (0,082) é substancialmente mais nocivo que o do marítimo (0,005), o esforço de subir os Andes de caminhão gera sozinho 182,368 kgCO_{2e}/t, superando quase a emissão inteira da viagem tradicional.

Em suma, a comparação direta dos totais revela que a Rota Bioceânica aumenta a poluição em 89,791 kgCO_{2e} por tonelada exportada em relação à rota tradicional. Para evidenciar o peso relativo desse aumento, aplicou-se o cálculo de incremento percentual ($\Delta\%$), dado pela equação:

$$\Delta\% = \left(\frac{E_{bio} - E_{atl}}{E_{atl}} \right) \times 100$$

Onde E_{bio} representa a emissão total da Rota Bioceânica e E_{atl} a emissão total da Rota do Atlântico. Substituindo os valores consolidados:

$$\Delta\% = \left(\frac{275,953 - 186,162}{186,162} \right) \times 100$$

$$\Delta\% = \left(\frac{89,791}{186,162} \right) \times 100$$

Conclui-se, portanto, que o atalho continental acarreta um impacto ambiental 48,23% maior do que o modelo logístico atual. Os resultados indicam, sob a atual matriz rodoviária a diesel, a rota fisicamente mais curta para a Ásia é, paradoxalmente, a mais desafiadora para o orçamento de carbono e para as metas de descarbonização do Mato Grosso do Sul.

3.3 Análise de Desempenho Logístico Real por Armador

Ao analisar os dados operacionais das companhias de navegação (*Carrier Analytics*), constatou-se uma assimetria severa na oferta de serviços portuários. Enquanto o Porto de Santos conta com 37 empresas operando a rota para Xangai (Figura 5), com média marítima de 38 dias (Tabela 1), o Porto de Antofagasta apresentou apenas 3 operadoras globais (Figura 5), com média marítima de 58 dias (Tabela 1). Para isolar a variável da operadora marítima e garantir uma comparação exata, a Tabela 3 apresenta o tempo de trânsito das três únicas empresas em comum que operam nas duas rotas avaliadas

Tabela 3. Comparativo do tempo de trânsito marítimo dos armadores operantes em comum nas rotas do Atlântico e Bioceânica.

Armador /Empresa	Tempo Marítimo saindo de Santos (Atlântico)	Tempo Marítimo saindo de Antofagasta (Bioceânica)	Diferença de (Atraso na Bioceânica)
Hapag-Lloyd	38 dias	49 dias	+ 11 dias
NileDutch	39 dias	62 dias	+ 23 dias
MSC	49 dias	64 dias	+ 15 dias

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4 DISCUSSÃO

A análise dos resultados quantitativos de emissões e tempos de trânsito revela que a viabilidade da Rota Bioceânica deve ser interpretada de forma multidimensional e dinâmica. Embora as projeções iniciais de mercado enfatizem o potencial de redução do tempo de viagem com base em distâncias náuticas teóricas, os dados reais obtidos por meio do *Carrier Analytics* indicam desafios operacionais no cenário presente que demandam compreensão logística.

Essa diferença observada entre a expectativa teórica e o tempo prático atual (onde a rota pelo Chile apresenta uma média de 60 dias totais frente a 39 dias via Santos) é explicada pelo conceito de conectividade portuária. O Porto de Santos consolidou-se historicamente como um *mega-hub* global, concentrando dezenas de linhas diretas e de alta frequência para a Ásia. Por outro lado, os portos do norte chileno, como Antofagasta, operam atualmente com uma quantidade mais restrita de linhas regulares para o mercado asiático, o que frequentemente exige que as embarcações realizem rotas de cabotagem, transbordos ou múltiplas escalas intermediárias antes de iniciarem a travessia do Pacífico.

É fundamental ressaltar, contudo, que este panorama reflete o estágio inicial de implementação do corredor. A dinâmica portuária é altamente responsiva ao volume de demanda. À medida que a infraestrutura terrestre do Corredor Biocênico de Capricórnio se consolida com a finalização da ponte binacional e a simplificação aduaneira e o fluxo de cargas do Centro-Oeste brasileiro crescer, haverá uma tendência natural de atração de novos armadores e operadoras marítimas para os portos chilenos. O aumento da concorrência e a criação de linhas expressas e diretas tendem a eliminar as escalas intermediárias atuais, otimizando gradativamente o *transit time* e alinhando a prática à vantagem geográfica potencial do corredor.

No contexto do agronegócio e do mercado de *commodities*, a grande vantagem atribuída à Rota Bioceânica é a redução do *transit time* e a otimização de custos. Informações de âmbito governamental e do próprio consórcio da rota estimam uma redução de até 17 dias no transporte para a Ásia e Oceania, transformando Mato Grosso do Sul em um *hub* logístico central na América do Sul (Rota Bioceânica, 2026; Mato Grosso Do Sul, 2026). Chegar mais rápido ao mercado asiático reduz o custo do frete marítimo, barateia seguros e acelera o fluxo de caixa do produtor.

Como apontam Huertas e Fonseca (2025), a arquitetura dessas infraestruturas de transporte atende à racionalidade da fluidez territorial, otimizando o escoamento produtivo em direção ao Pacífico. Todavia, este é um ganho predominantemente econômico e logístico. A presente pesquisa demonstra que essa eficiência de tempo impõe um *trade-off* estrutural, onde o barateamento e a agilidade da mercadoria esbarram no desafio do aumento da pegada de carbono estadual, exigindo o planejamento de medidas mitigadoras.

Algumas publicações e análises de mercado sustentam-se em uma premissa lógica inicial: se a distância total do trajeto é menor (como provado neste estudo, que apontou uma economia de 491 km em relação à Rota do Atlântico), o gasto de combustível e a poluição tenderiam a ser menores. Contudo, o presente estudo aponta que essa premissa requer ressalvas sob a ótica da engenharia logística.

Ao isolar os fatores de emissão, evidencia-se que o impacto ambiental de 1 km percorrido por um caminhão pesado a diesel é consideravelmente superior ao de 1 km percorrido por um navio graneleiro. Essa disparidade é amplamente corroborada pela literatura internacional. Nusa e Kodak (2023) e Ülker et al. (2021) confirmam em suas análises comparativas que o transporte marítimo transoceânico (*short/deep sea shipping*) possui uma eficiência de carbono superior ao modal rodoviário, diluindo as emissões em razão da gigantesca capacidade de carga. Svindland e Hjelle (2019) reforçam que as políticas de transporte global buscam focar no modal marítimo justamente por sua alta eficiência de CO₂.

O que a perspectiva puramente focada na distância por vezes deixa em segundo plano é que a Rota Bioceânica substitui parte de uma navegação marítima (modal de baixa emissão relativa) por um longo percurso terrestre cruzando o continente. Ao direcionar a carga para veículos regidos por dinâmicas de alta combustão (Demir; Bektaş; Laporte, 2011) por mais de 2.200 km em aclives andinos, a economia de carbono obtida no oceano é suplantada pelas emissões do trajeto continental.

Além das emissões diretas, a consolidação desse corredor rodoviário traz consigo pontos de atenção socioambientais e operacionais. Como observa a organização Ecoa (2020), grandes obras de infraestrutura demandam monitoramento cuidadoso sobre impactos indiretos, como a pressão sobre a expansão agrícola na bacia do rio Paraguai e o risco de atropelamento de fauna silvestre no Pantanal. Soma-se a isso o desafio da harmonização e agilidade dos trâmites

aduaneiros, longas esperas em áreas de fronteira entre Brasil e Paraguai podem gerar queima de diesel ociosa e comprometer a própria promessa de rapidez do corredor.

Nesse sentido, as esferas diplomáticas e os governos dos quatro países envolvidos (Brasil, Paraguai, Argentina e Chile) vêm demonstrando proatividade para mitigar esses gargalos e garantir o compromisso com a infraestrutura. Recentemente, avanços importantes foram anunciados para o fortalecimento da interligação, como a disposição de fundos internacionais (a exemplo do Fonplata) para financiar a segunda ponte em Pozo Hondo (Paraguai) e a pavimentação de trechos estratégicos na Argentina, além de concessões rodoviárias e hidroviárias no Mato Grosso do Sul que visam garantir que a carga chegue aos portos com qualidade e segurança (Campo Grande News, 2024).

Adicionalmente, o reconhecimento oficial da necessidade de descarbonizar a rota. Autoridades federais e estaduais alertam que o volume de carga projetado para a Bioceânica é de tal magnitude que a dependência exclusiva de caminhões esbarraria em um limite físico de disponibilidade de frota. Assim, a integração ferroviária desponta não apenas como uma adequação ecológica, mas como uma solução vital de escoamento. Matérias jornalísticas recentes de viabilidade apontam para a unificação de malhas já operacionais ou em processo de concessão, conectando a Malha Oeste no Brasil ao sistema ferroviário da Bolívia, integrando-se à Belgrano Cargas Norte (Argentina) e alcançando Antofagasta (Chile) por meio da Ferronor (Campo Grande News, 2024). Segundo avaliações do setor, os investimentos para interligar essas redes seriam relativamente baixos frente às imensas vantagens operacionais de um transporte ferroviário unificado.

Por fim, a Rota Bioceânica apresenta um cenário fértil de oportunidades. A estruturação desse eixo pode atrair novas empresas e operadores logísticos focados em sustentabilidade (utilizando frotas movidas a biometano, biodiesel ou tecnologias elétricas/híbridas). Com o avanço conjunto da infraestrutura ferroviária, aduaneira e a adoção de matrizes energéticas mais com modal de menor intensidade carbônica pelas empresas de transporte, a Rota Bioceânica tem todo o potencial para superar seus desafios iniciais e se enquadrar, de forma viável e definitiva, como o grande "corredor verde" que ajudará Mato Grosso do Sul a alcançar a meta de Estado Carbono Neutro até 2030.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa demonstrou que a avaliação do corredor logístico da Rota Bioceânica (Corredor Biocênico de Capricórnio) apresenta cenários distintos quando analisada sob as óticas geográfica, operacional e ambiental vigentes. Embora a rota represente um atalho físico real, a configuração portuária atual nos terminais chilenos reflete uma menor conectividade inicial em comparação ao *hub* consolidado de Santos, resultando em um tempo de trânsito real temporariamente superior.

Sob a perspectiva ambiental da matriz de transporte predominantemente rodoviária a diesel, o incremento do percurso terrestre continental eleva a pegada de carbono em aproximadamente 48%. Contudo, esses resultados não inviabilizam o projeto; pelo contrário, funcionam como indicadores estratégicos. Para que o corredor alcance plenamente seu potencial de sustentabilidade e eficiência, a evolução para a integração ferroviária internacional e a consolidação de novas linhas marítimas regulares surgem como caminhos fundamentais. Dessa forma, a transição estrutural permitirá que a Rota Bioceânica se consolide de maneira definitiva como um corredor verde altamente competitivo, auxiliando Mato Grosso do Sul a atingir suas metas de descarbonização até 2030.

Embora os resultados obtidos permitam identificar tendências relevantes acerca do desempenho ambiental das rotas analisadas, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas. Primeiramente, o estudo baseou-se na utilização de fatores médios de emissão de gases de efeito estufa, prática amplamente empregada em inventários ambientais e modelagens logísticas, mas sujeita a variações decorrentes de diferenças operacionais, tecnológicas e regionais (Noussan; Campisi; Jarre, 2022).

Além disso, a pesquisa adotou uma simulação logística fundamentada em parâmetros estimados de roteirização e transporte, não contemplando medições empíricas em campo ou operações reais de exportação. Outra limitação importante refere-se à ausência de integração ferroviária operacional consolidada na Rota Bioceânica, aspecto que pode alterar significativamente os resultados futuros de emissões, considerando a reconhecida eficiência energética do modal ferroviário em comparação ao transporte rodoviário pesado.

Por fim, o estudo concentrou-se exclusivamente na análise ambiental da pegada de carbono, não abrangendo avaliações econômicas detalhadas, como custos logísticos totais, competitividade comercial, viabilidade financeira ou análise custo-benefício das alternativas de

escoamento. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras incorporem dados operacionais reais, análises multicritério e comparações intermodais mais abrangentes para aprofundar a compreensão dos impactos da integração bioceânica sobre o agronegócio sul-mato-grossense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO). **Relatório 2024: Rotas de Integração Sul-Americana**. Brasília, DF: MPO, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/assuntos/articulacao-institucional/rotas-de-integracao/relatorio-2024-rotas-de-integracao.pdf>. Acesso em: 17 maio 2026.
2. CAMPO GRANDE NEWS. Ministro cobra compromisso dos 4 países com infraestrutura da Bioceânica. **Campo Grande News**, Campo Grande, 20 nov. 2024. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/brasil/cidades/ministro-cobra-compromisso-dos-4-paises-com-infraestrutura-da-bioceanica>. Acesso em: 17 maio 2026.
3. DEMIR, E.; BEKTAŞ, T.; LAPORTE, G. A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 347-357, 2011.
4. DOS SANTOS, Luis Felipe Umbelino; JUNIOR, Luiz Pinedo Quinto; MATOS, Saulo Marelli. Estimativa de emissão de CO₂: análise comparativa dos principais métodos e o caso em embarcações marítimas. **Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy - International Law and Business Review**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 30-47, 2023.
5. ECOA - ECOLOGIA E AÇÃO. **Rota Bioceânica: O que é e seus impactos diretos e indiretos**. Campo Grande, 6 fev. 2020. Disponível em: <https://ecoa.org.br/rota-bioceanica-o-que-e-e-seus-impactos-diretos-e-indiretos/>. Acesso em: 17 maio 2026.
6. FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces). **Programa Brasileiro GHG Protocol: Ferramenta de cálculo**. São Paulo: FGV EAESP, 2026. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 26 maio 2026.
7. GHG PROTOCOL. **Metodologia para inventários corporativos de gases de efeito estufa**. São Paulo: Programa Brasileiro GHG Protocol, 2022. Disponível em:

- <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 26 maio 2026.
8. HUERTAS, D. M.; FONSECA, R. O. Rota Bioceânica de Capricórnio: apontamentos e potencialidades de uso do território em direção ao cordão portuário do norte do Chile. **Confins - Revue franco-brésilienne de géographie**, [S. l.], n. 69, 2025.
 9. MATO GROSSO DO SUL. Governo do Estado. Com redução de custos e tempo, corredor bioceânico poderá impulsionar exportação de carne em MS. **Agência de Notícias do Governo de Mato Grosso do Sul**, Campo Grande, [2025]. Disponível em: <https://www.ms.gov.br/noticias/com-reducao-de-custos-e-tempo-corredor-bioceanico-podera-impulsionar-exportacao-de-carne-em-ms>. Acesso em: 17 maio 2026.
 10. NOUSSAN, M.; CAMPISI, E.; JARRE, M. Carbon intensity of passenger transport modes: a review of emission factors, their variability and the main drivers. **Sustainability**, [S. l.], v. 14, n. 17, p. 10652, 2022.
 11. NUSA, K.; KODAK, D. G. Comparison of Maritime and Road Transportations in Emissions Perspective: A Review Article. **International Journal of Environment and Geoinformatics**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 48-60, 2023.
 12. ROTA BIOCEÂNICA. **Vantagens**. [S. l.], 2026. Disponível em: <https://rotabioceanica.com.br/vantagens/>. Acesso em: 17 maio 2026.
 13. SEARATES. **Carbon Emissions Calculator**. Almaty: SeaRates, 2026. Disponível em: <https://www.searates.com/pt/carbon-emissions-calculator/>. Acesso em: 20 maio 2026.
 14. SEARATES. **Distance and Time Calculator & Carrier Analytics**. Almaty: SeaRates, 2026. Disponível em: <https://www.searates.com/distance-time/>. Acesso em: 20 maio 2026.
 15. SIMÃO, Luiz Eduardo; SCARIOT, Gêssica Luiza; CEZNE, Marcos Antonio. Transporte rodoviário de cargas: como selecionar um método para cálculo de emissão de CO2 da sua frota? **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, Florianópolis, v. 15, ed. esp., p. 108–130, 2022.
 16. SVINDLAND, M.; HJELLE, H. M. The comparative CO2 efficiency of short sea container transport. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S. l.], v. 77, p. 11-20, 2019.
 17. ÜLKER, D. *et al.* A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region. **Carbon Management**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 1-12, 2021.