



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

MATHEUS REIS FRAGOSO

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA ESCOLHA DOS MODAIS DE
TRANSPORTE NO AGRONEGÓCIO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA**

Araguaína, TO

2023

Matheus Reis Fragoso

Análise multicritério na escolha dos modais de transporte no agronegócio: uma análise comparativa

Artigo apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Araguaína, para obtenção do título de Tecnólogo em Logística.

Orientador: Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco.

Araguaína, TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- F811a Fragoso, Matheus Reis.
 Análise multicritério na escolha dos modais de transporte no
 agronegócio: uma análise comparativa ./ Matheus Reis Fragoso. –
 Araguaína, TO, 2023.
 27 f.
- Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Araguaína - Curso de Logística, 2023.
 Orientador: David Gabriel de Barros Franco
1. Logística de Transporte. 2. Agronegócio. 3. Modais de Transporte. 4.
 Decisão Multicritério. I. Título

CDD 658.5

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Matheus Reis Fragoso

Análise multicritério na escolha dos modais de transporte no agronegócio: uma análise comparativa

Artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso Superior de Tecnologia em Logística, foi avaliado para a obtenção do título de Tecnólogo em Logística e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 04 / 07 / 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco – Orientador, UFT

Prof. Ma. Carla Daniele dos Santos – Examinadora, UFT

Prof. Dr. Warton da Silva Souza – Examinador, UFT

RESUMO

O agronegócio brasileiro é uma atividade econômica de grande relevância, sendo responsável pelo fornecimento de alimentos em todo o país. Para garantir eficiência nos processos logísticos, é crucial compreender os fatores que influenciam a escolha dos modais de transporte nesse setor. Ao entender esses fatores, as empresas podem adotar estratégias que resultem na seleção do modal mais adequado, promovendo maior eficiência e redução de custos. O estudo tem como objetivo analisar os principais fatores que influenciam a escolha dos modais de transporte do agronegócio. Para alcançar o objetivo proposto foi realizada uma análise comparativa dos métodos de decisão multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE II) aplicados à identificação dos fatores que influenciam a escolha dos modais de transporte para o agronegócio. Os fatores identificados, em ordem decrescente de importância, determinantes na escolha do modal são disponibilidade, custo, capacidade, confiabilidade e velocidade. O modal identificado como a melhor opção para o escoamento de produtos do agronegócio, no cenário analisado, foi o rodoviário.

Palavras-chaves: Logística de Transporte. Agronegócio. Modais de Transporte. Decisão Multicritério.

ABSTRACT

Brazilian agribusiness is an economic activity of great relevance, being responsible for supplying food throughout the country. To ensure efficiency in logistics processes, it is crucial to understand the factors that influence the choice of transport modes in this sector. By understanding these factors, companies can adopt strategies that result in the selection of the most appropriate modal, promoting greater efficiency and cost reduction. The study aims to analyze the main factors that influence the choice of agribusiness transport modes. To achieve the proposed objective, a comparative analysis of the multicriteria decision-making methods Analytic Hierarchy Process (AHP) and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE II) was carried out, applied to the identification of factors that influence the choice of transport modes for agribusiness. The factors identified, in descending order of importance, that determine the choice of modal are availability, cost, capacity, reliability and speed. The modal identified as the best option for the disposal of agribusiness products, in the analyzed scenario, was the road.

Keywords: Transport Logistics. Agribusiness. Transport Modes. Multicriteria Decision.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Problema de pesquisa	7
1.1.1	Justificativa	7
1.2	Objetivos	8
1.2.1	Objetivo Geral	8
1.2.2	Objetivos Específicos	8
1.3	Metodologia	8
1.3.1	Metodologia da Pesquisa	8
1.3.2	Procedimentos Metodológicos	9
1.4	Estrutura do trabalho	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Modais de transporte	10
2.2	Logística do Agronegócio	15
3	RESULTADOS E ANÁLISE	17
3.1	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	17
3.2	PROMETHEE II	20
3.3	Comparação dos cenários	22
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido internacionalmente como um dos maiores produtores e exportadores de commodities agrícolas como açúcar, café, milho, soja, carne bovina, carne suína e aves. A posição que o Brasil ocupa nesse setor contribui para o crescimento econômico e a geração de emprego. Nesse sentido, a escolha do modal de transporte adequado é crucial para o agronegócio brasileiro.

Para Santos e Pereira (2019), o escoamento da produção do agronegócio é crucial para alcançar os mercados nacionais e internacionais. Isso requer a utilização eficiente dos meios de transporte disponíveis, como rodovias, ferrovias e hidrovias. A estruturação adequada da matriz de transportes é fundamental para garantir a movimentação eficiente e segura das mercadorias ao longo de toda a cadeia logística. Para isso, é necessário planejar e desenvolver infraestruturas e sistemas logísticos que possibilitem o transporte rápido e eficaz dos produtos agrícolas, minimizando custos e otimizando os prazos de entrega.

Uma vez que a eficiência logística tem um impacto direto na competitividade dos produtos no mercado, a capacidade de transportar os produtos agrícolas de forma rápida, segura e econômica até os portos de exportação ou aos centros de consumo interno é fundamental para garantir a competitividade e a rentabilidade do setor.

O agronegócio brasileiro também enfrenta a necessidade de atender à demanda interna, com o transporte dos produtos agrícolas para os diversos centros urbanos do país. Portanto, a escolha adequada do modal de transporte é fundamental para garantir a eficiência e a rentabilidade de toda a cadeia produtiva.

1.1 Problema de pesquisa

Essa pesquisa busca responder à seguinte questão-problema: Quais os critérios mais importantes para a escolha dos modais de transporte no agronegócio?

1.1.1 Justificativa

O agronegócio é uma das principais atividades econômicas do Brasil, desempenhando um papel fundamental no abastecimento de alimentos para todo o território nacional. Dessa maneira, compreender os fatores que afetam a seleção dos modais de transporte no agronegócio

permite que as empresas adotem estratégias para a escolha do melhor modal possível, permitindo maior eficiência dos processos logísticos. Além disso, contribui para o desenvolvimento sustentável do setor, promovendo a redução de custos, o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos serviços logísticos e o fortalecimento da competitividade no mercado global.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os principais critérios que influenciam a escolha dos modais de transporte do agronegócio a partir da análise multicritério.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Identificar os critérios que afetam o custo do transporte no agronegócio;
- II. Analisar as vantagens e desvantagens dos modais de transporte no agronegócio;
- III. Propor estratégias para reduzir os custos do transporte agropecuário.

1.3 Metodologia

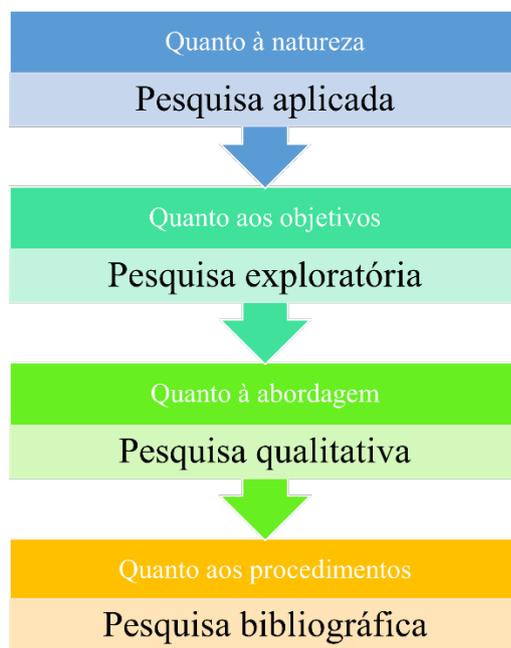
1.3.1 Metodologia da Pesquisa

Quanto à abordagem, esta é uma pesquisa qualitativa, pois utiliza-se de análises verbais e visuais para abordar o tema em estudo. Para Gerhardt e Silveira (2009, p. 31), “a pesquisa qualitativa não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, uma organização, etc.” Do ponto de vista de sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada.

Este estudo tem como objetivo realizar uma avaliação exploratória, com intuito de analisar a melhor opção para transporte de cargas no agronegócio. Neste sentido, os resultados serão obtidos de forma dedutiva, analisando as informações encontradas na literatura e utilizando o raciocínio lógico para chegar a uma conclusão em relação ao tema. Quanto aos procedimentos, será utilizada uma pesquisa bibliográfica, a partir da coleta de informações de

fontes secundárias, incluindo busca em sites especializados referentes ao tema do agronegócio e logística de transporte. A Figura 1 sintetiza a metodologia de pesquisa adotada.

Figura 1 – Metodologia de pesquisa utilizada.



Fonte: o autor (2023).

1.3.2 Procedimentos Metodológicos

As informações foram coletadas de fonte secundárias, incluindo busca em sites especializados e nas bases de dados científicas *Scientific Eletronic Library Online (SCIELO)* e *Google Acadêmico*, e em livros que abordaram o tema.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em 4 capítulos. O Capítulo 1, Introdução, apresentou o tema da pesquisa, além de definir os objetivos e apresentar as limitações do trabalho, permitindo uma visão clara do escopo da pesquisa. No Capítulo 2 será apresentado o Referencial Teórico referente à logística e ao agronegócio. O Capítulo 3 apresentará os resultados e a análise. Por fim, o capítulo 4 trará as considerações finais.

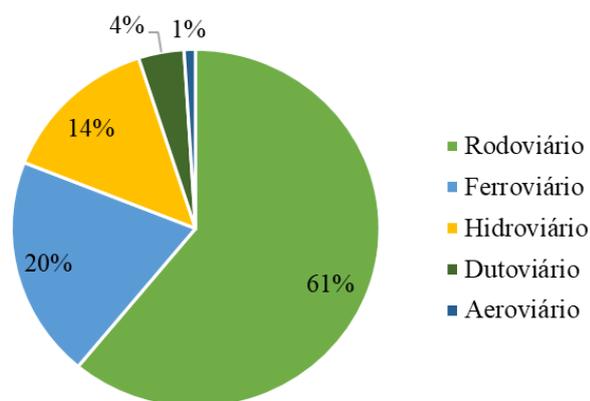
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modais de transporte

Os modais são métodos ou meios de realização de transporte, sendo umas das mais importante da organização e operação logística para determinar o tipo de transporte que será realizado. Conforme Ballou (2006), o usuário de transportes tem um amplo conjunto de serviços à disposição, girando em torno de cinco modais básicos: hidroviário¹, ferroviário, rodoviário, aeroviário e dutoviário.

Para Paula (2016), cada modal tem suas próprias características, tanto operacionais quanto estruturais, o que acarreta diferentes estruturas de custos. Devido a isso cada modal é mais indicado para uma determinada situação, dependendo da localização, volume e/ou produto. Qualquer modal apresenta formas diferentes de locomoção, como por exemplo caminhão, trem e navios, cada modal tem seu custo, podendo variar o custo em determinados lugares. Fazendo menção aos autores Pendeado e Mirandola (2021) destaca-se a importância de utilizar diferentes modalidades de transporte de cargas, cada um com suas próprias vantagens e especialidades. No Brasil, o transporte de carga é predominantemente feito por meio de rodovias, representando 61% do total, seguido por ferrovias com 20%, hidrovias com 14%, dutovias com 4% e modal aéreo com menos de 1%, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Utilização dos modais no Brasil.



Fonte: Pendeado e Mirandola (2021).

¹ Os termos aquaviário e hidroviário, sinônimos, serão utilizados em acordo com a referência citada.

Segundo Wanke e Fleury (2006, p. 409), “nos critérios para a escolha do modal, deve-se observar aspectos relativos a custos, e questões relacionadas a prestação do serviço de transporte”. Todavia é necessário observar o tipo de cargas a serem transportadas, boa parte das cargas transportadas são perdidas no trajeto, gerando desperdícios e prejuízos ao proprietário da carga, por isso é necessária uma análise criteriosa da escolha correta dos modais.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2015), o modal ferroviário é muito competitivo no transporte de grandes volumes de carga por longas distâncias, sendo ideal para as cadeias produtivas de commodities minerais e agrícolas, setores nos quais o Brasil se destaca. Suas características, como segurança, baixo custo e reduzida emissão de poluentes, além da confiabilidade e disponibilidade do serviço, mostram seu potencial para ampliar o volume de carga movimentado e diversificar os tipos de mercadorias, inclusive aquelas com maior valor agregado. Portanto, o transporte ferroviário pode contribuir significativamente para o desenvolvimento econômico do país, especialmente na logística de exportação de produtos.

Para os autores Wanker e Fleury (2006), esse modal funciona em ferrovias, em trilhos, ou seja, por trem de alta velocidade e com alta capacidade para carga. O modal ferroviário apresenta custos fixos elevados, em decorrência de substanciais investimentos em trilhos, terminais, locomotivas e vagões. Seus custos variáveis são pequenos, apresentando um baixo custo por quilômetro percorrido, entretanto, isso vai depender de vários fatores, como por exemplo, se a área é urbana ou rural, e também da topografia, além de outros aspectos. Ornellas e Campos (2008) dizem a respeito dos custos do transporte ferroviário:

Serviços como carregamento, descarregamento, manobras no pátio, faturamento e cobrança contribuem para os altos custos fixos, mas um grande volume de carga serve para uma redução significativa dos custos por unidade de peso, resultando na economia de escala (ORNELLAS; CAMPOS, 2008, p. 71).

Esse modal é utilizado para transporte de produtos químicos, transporte de matéria-prima e produtos de baixo custo e alto volume (PENDEADO; MIRANDOLA, 2021). Os autores ainda afirmam a respeito do modal ferroviário:

Este modal foi ultrapassado pela excessividade de uso do modal rodoviário, pois o custo de implementação de uma ferrovia é bem caro e sua flexibilidade é baixa levando a complicações para descer e subir montanhas, além da necessidade de um espaço amplo ao fazer curvas (curvas fechadas podem acarretar a um tombamento). Ainda assim, é fortemente utilizado para transporte de cargas grandes e longas distâncias em união de eixos (norte-sul, centro-norte, bioceânica). (PENDEADO; MIRANDOLA, 2021, p. 3).

A CNT (2015) destaca que a malha ferroviária brasileira conecta as principais regiões produtoras com diversos portos no litoral, o que contribui para a dinâmica econômica do país. Além disso, a modernização do sistema ferroviário pelas concessionárias, associada à integração com vias navegáveis e rodovias, mostra a complementaridade das ferrovias no transporte de cargas. As ferrovias possuem importância estratégica para a integração do território nacional e são fundamentais para o desenvolvimento econômico do país.

Segundo os autores Penteado e Mirandola (2021) o modal dutoviário é utilizado para transportar produtos por meio de tubulações ou dutos, divididos em oleodutos (líquidos e óleos), gasodutos (gases) e minerodutos (minério de ferro). Esse modal apresenta baixo consumo de energia, baixo custo operacional e não sofre paralisação devido a condições climáticas ou atmosféricas. É uma alternativa eficiente para o transporte de grandes volumes de produtos, como petróleo e combustível. Dantas *et al.* (2022) diz a respeito do modal dutoviário:

O dutoviário é uma opção de transporte segura e eficiente para grandes quantidades de mercadorias que precisam ser transportadas em longas distâncias, capaz de transportar grandes volumes de carga e com menor risco de danos ou perdas em relação a outros modais de transporte. Este é o método de transporte com maior confiabilidade devido ao pequeno número de interrupções que podem resultar na variabilidade no tempo (DANTAS *et al.*, 2022, p. 91).

O transporte dutoviário é capaz de transportar grandes volumes de carga de forma contínua, o que o torna mais eficiente em comparação com outros métodos de transporte, como transporte rodoviário ou ferroviário. Além disso, como os dutos são subterrâneos ou aéreos, eles ocupam menos espaço em relação aos demais métodos de transporte, vale ressaltar que os dutos operam 24 horas por dia, sete dias por semana, podendo ser acionados a qualquer momento (WANKE; FLEURY, 2006).

O transporte rodoviário é mais adequado para deslocamentos de curtas e médias distâncias, mas no Brasil é utilizado também para deslocamentos de longa distância. Para obter eficiência logística, é necessário planejar um sistema de transporte de cargas integrado, considerando as características de cada modalidade e adequando-as ao perfil de cada tipo de produto e às distâncias percorridas. Assim, é possível explorar as potencialidades de cada modalidade e alcançar ganhos de eficiência na logística de transporte de cargas, segundo a CNT (2018).

O transporte rodoviário é basicamente aquele que utiliza estradas e rodovias para movimentação de cargas e pessoas através de veículos automotores, normalmente veículos pesados: caminhões, carretas, ônibus e outros (BARRETO; RIBEIRO, 2019).

Segundo dados da CNT (2018) a experiência dos usuários das vias, no modal rodoviário, é influenciada, em grande medida, pela existência de pavimentos e pela qualidade da sua execução e manutenção. O modal rodoviário, em particular, caracteriza-se pela sua capilaridade, flexibilidade e capacidade de integração com os demais sistemas de transporte. A disponibilidade de ligações viárias entre as diversas áreas povoadas e entre os locais de extração, produção e consumo de bens, permitindo que os deslocamentos sejam realizados.

O transporte rodoviário cresceu significativamente após a criação da Petrobras, fabricante do combustível, a partir dos anos 50. Esse crescimento foi estratégico para impulsionar o desenvolvimento e crescimento da indústria brasileira. Dessa forma, o rodoviarismo se tornou um importante meio de transporte para a movimentação de cargas no país. (PENDEADO; MIRANDOLA, 2021).

No Brasil, esse modal destaca-se por sua significativa participação na matriz de transporte, sendo responsável por mais de 61% da movimentação de mercadorias e por 95% da de passageiros (CNT, 2018).

Para os autores Pendeado e Mirandola (2021) apesar de ser o modal mais utilizado no Brasil, o transporte rodoviário é mais adequado para baixas quantidades de carga e é considerado o modal com maior índice de furtos e acidentes no país. Isso evidencia a necessidade de se investir em outros modais de transporte, como as ferrovias e hidrovias, para diversificar as opções de transporte de cargas e melhorar a eficiência e segurança do sistema logístico brasileiro.

O modal aeroviário é uma das opções de transporte de cargas e passageiros que utiliza a aviação como meio de locomoção, esse modal é conhecido por ser prático e rápido que permitindo o transporte para grandes quantidades de carga em um curto espaço de tempo, além de ser uma opção de transporte para longas distâncias.

Segundo Wanke e Fleury (2006) em termos de velocidade, o modal aeroviário é o mais veloz, seguido pelo rodoviário, ferroviário, aquaviário e dutoviário. No entanto, se for considerado o tempo de entrega porta a porta, os benefícios da velocidade no transporte aeroviário são percebidos, sobretudo, nas grandes distâncias, tanto em termos relativos quanto em termos absolutos.

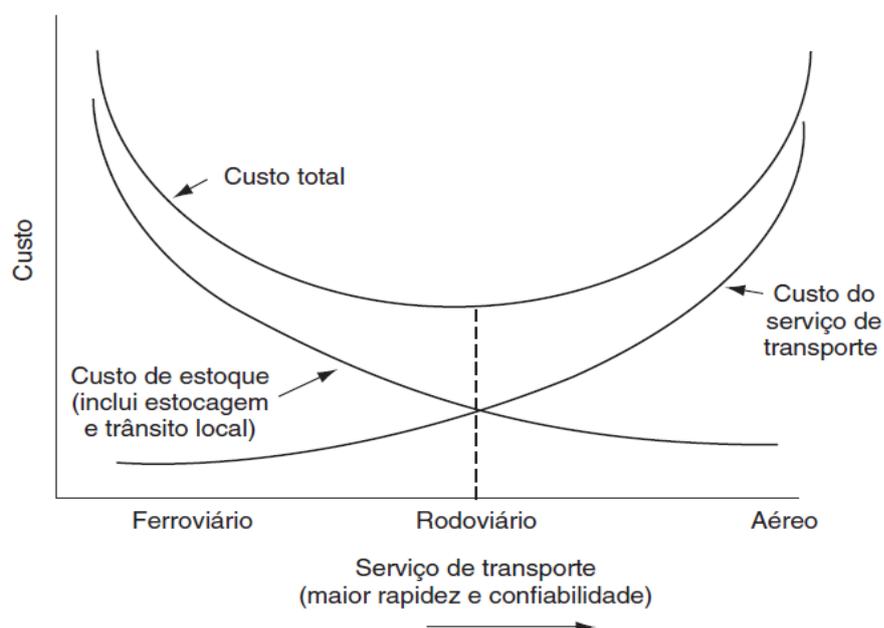
Além disso, deve ser ressaltado que, na prática, o tempo de entrega do modal rodoviário e do modal ferroviário dependem fundamentalmente do estado de conservação das vias e do nível de congestionamento destas (WANKE; FLEURY, 2006).

Conforme Pendeado e Mirandola (2021) o modal aeroviário é dividido em quatro categorias: aviões, balões, helicópteros e dirigíveis. Ele possui a capacidade de transportar pessoas, animais e cargas, tornando-se um importante meio de transporte para áreas remotas. No entanto, devido aos altos custos operacionais, é mais utilizado para o transporte de mercadorias de alto valor agregado e em situações emergenciais. Segundo o autor Paula (2016), modal Aquaviário é composto por três maneiras sendo elas pela navegação, lacustre e fluvial. A cabotagem é uma outra divisão do modal aquaviária seguida por navegação de longo curso que é comum para exportação. Segundo a CNT (2006) transporte aquaviário se caracteriza por utilizar rios, lagos e oceanos para o deslocamento de pessoas e mercadorias dentro do mesmo país ou entre diferentes nações. Paula (2016) traz alguns números a respeito do transporte aquaviário:

Os principais materiais transportados via cabotagem no Brasil são os grãos líquidos, principalmente combustíveis e óleos minerais e produtos, que representam 77,2% do total de carga transportado neste modal. O transporte aquaviário não apresenta limites sobre o tipo de produto que pode transportar e restrições muito amplas quanto ao volume que pode ser transportado (PAULA, 2016 p. 37)

O autor ainda aponta grande oportunidade de crescimento e utilização maior para esse modal, principalmente em se tratando de grandes quantidades de carga. A Figura 3 traz o comparativo entre os modais ferroviário, rodoviário e aeroviário no que diz respeito ao custo de estoque, custo de transporte e custo total das operações.

Figura 3 – Comparativo dos custos de três modais selecionados



Fonte: Ballou (2006).

Percebe-se, pela Figura 3, que o modal ferroviário possui o menor custo de transporte, ou seja, é o mais econômico para grandes volumes e grandes distâncias. No outro extremo, temos o modal aéreo, ideal para pequenas cargas de alto valor. Na análise do custo total, o modal que se sai melhor é o rodoviário, sendo um intermediário em termos de custo e que oferece a vantagem da flexibilidade.

2.2 Logística do Agronegócio

De acordo com Barros (2022), o agronegócio resulta na expressão da junção da agricultura com negócios, o termo da agricultura se envolve na atividade econômica referente a agricultura, e o termo do negócio é considerado em um sentido abrangente de valores do trabalho e de capital que se envolve no uso do mesmo.

Segundo Associação Brasileira do Agronegócio da Região do Ribeirão Preto ABAGRP, (2023) o agronegócio abrange todas as operações que ocorrem antes, durante e depois das porteiras das fazendas, incluindo a pesquisa científica, produção de insumos, transporte, armazenamento, industrialização e comercialização de produtos agrícolas. É um setor vital da economia brasileira e mundial, interligando atividades rurais e urbanas em cadeias produtivas, envolvendo diversos profissionais e serviços financeiros.

Segundo Arieira (2017), o transporte é um fator crítico que afeta o desempenho das cadeias produtivas agroindustriais uma vez que, devido as características próprias do agronegócio, o transporte desempenha um papel fundamental na eficiência produtiva. O autor comenta:

Como o agronegócio envolve não somente o antes e o dentro da porteira, também pode ser em parte creditado ao setor o desenvolvimento de produtos alimentícios e de consumo, baseados na produção agrícola, mas com características e valor agregados inexistentes até pouco tempo atrás (ARIEIRA, 2017, p. 168).

A necessidade de transportar insumos e produtos ao longo de grandes distâncias, juntamente com as peculiaridades que dificultam esse processo, resulta em altos custos operacionais. Porém, com o compartilhamento de informação é possível mitigar esses desafios ao compartilhar informações entres os diversos agentes da cadeia, evitando transportes desnecessários e utilizando de forma mais racional os veículos, o que reduz os custos operacionais (ARIEIRA, 2017).

Outro fator, o compartilhamento de informações, permite uma programação de cargas mais eficiente, otimizando o uso dos recursos e tornando o processo mais econômico, dessa maneira evitando perdas de tempo com carga e descarga, além de possibilitar um melhor planejamento das operações produtivas, evitando paradas de produção, setups dispendiosos ou reprogramações (ARIEIRA, 2017).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Nessa etapa será discutido a melhor opção para escolha do modal adequado para o agronegócio, analisando comparativamente os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE II). Nesse estudo somente serão analisados os modais rodoviário, hidroviário e ferroviário, por serem mais adequados para o escoamento de produtos do agronegócio (CASTRO *et al.*, 2016).

3.1 *Analytic Hierarchy Process*

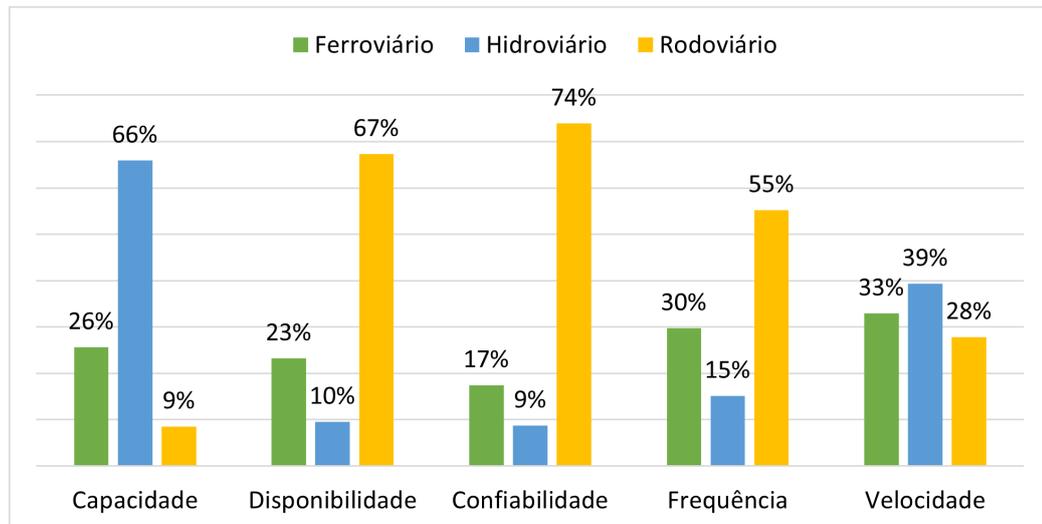
Em sua análise, Castro *et al.* (2016) utilizaram o método AHP, por considerar o método mais relevante para o problema abordado, aplicado ao transporte de grãos no estado do Mato Grosso do Sul. Foram analisadas as seguintes variáveis operacionais: velocidade, confiabilidade, frequência, disponibilidade e capacidade. A variável custo foi tratada separadamente através da Análise do Custo versus Benefício (ACB).

Os autores elaboraram dois questionários com perguntas abertas sobre a identificação de pessoas e empresas envolvidas no estudo, além de perguntas fechadas comparando as variáveis de decisão e seus respectivos pesos, segundo o julgamento do respondente. Além disso, o questionário passou por um teste prévio, cujo objetivo foi validar o processo de decisão.

O primeiro questionário foi direcionado a oito especialistas em logística do estado do Mato Grosso do Sul e abordava os seguintes critérios: Tamanho do Veículo, Volume da Carga, Existência de Demanda, Serviço Disponível, Alterações nas Entregas, Atendimento ao Pedido, Período de Tempo, Número de Viagens, Tempo de Movimentação e Distância Percorrida. O segundo questionário continha perguntas direcionadas a sete representantes da empresa e instituições ligadas à logística do agronegócio, que analisariam os critérios: Capacidade, Disponibilidade, Confiabilidade, Frequência e Velocidade.

O resultado das entrevistas realizadas, para cada critério e modal analisado, é apresentado na Figura 4, abaixo. É possível perceber que o modal rodoviário se destaca como melhor avaliado em três dos cinco critérios utilizados (disponibilidade, confiabilidade e frequência), seguido pelo hidroviário nos outros dois critérios (capacidade e velocidade).

Figura 4 – Resultado da análise dos critérios por modal.



Fonte: adaptado de: Castro *et al.* (2016).

Segundo o autor, a capacidade é um critério que se torna importante para o escoamento de produtos, o que faz do modal hidroviário o mais viável quando se busca pelo critério de capacidade, seguidos pelos modais ferroviários e rodoviário. O modal rodoviário apresenta uma grande desvantagem em possuir pouca capacidade de carga em relação aos outros dois modais, e o ferroviário apresenta benefício quando comparado ao sistema rodoviário por possuir uma grande capacidade de carga (CASTRO *et al.*, 2016).

A disponibilidade no modal rodoviário apresenta o melhor nível de avaliação, uma vez que facilita as entregas “porta a porta”, seguido pelo modal ferroviário, que se mostra mais eficiente para longas distâncias, embora dependa de uma malha sucateada, no caso do Brasil. O modal hidroviário é considerado o sistema com o menor índice de disponibilidade, pois depende das condições geográficas de rios, além de uma série de investimento na estruturação desse modal (CASTRO *et al.*, 2016).

No que diz respeito à confiabilidade, o modal rodoviário é a melhor opção no transporte de grãos, podendo chegar facilmente de um ponto a outro, sofrendo poucas influências de agentes externos. Já os modais ferroviário e hidroviário, por dependerem de infraestruturas sucateadas ou inexistentes, obtiveram os menores valores de confiabilidade entre todos os critérios analisados (CASTRO *et al.*, 2016).

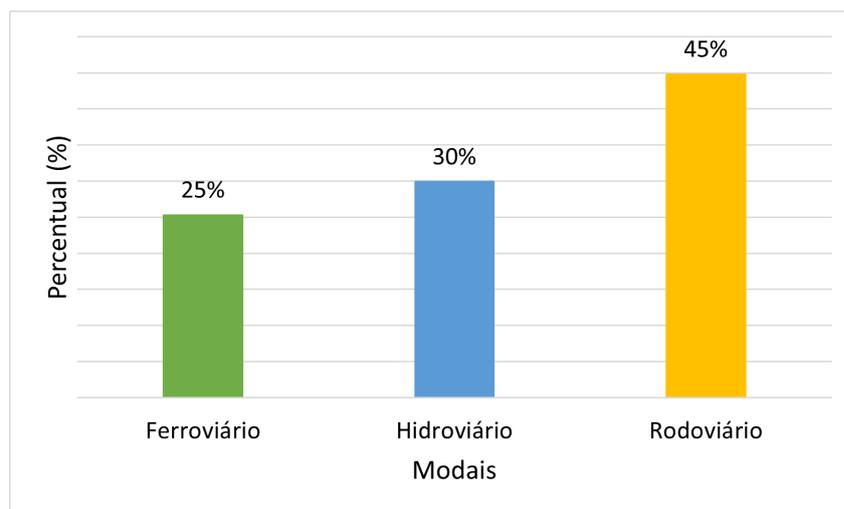
Para o critério frequência, o modal rodoviário é o mais relevante, seguido pelo modal ferroviário. A frequência pode ser entendida como o número de viagens realizadas de uma origem até um destino. O modal rodoviário é o sistema de transporte mais utilizado em termos de frequência, realizando mais viagens em um período de tempo menor, em comparação aos

sistemas ferroviário e hidroviário. Isso indica que as estradas desempenham um papel fundamental no transporte de pessoas e mercadorias, oferecendo uma ampla cobertura e flexibilidade geográfica (CASTRO *et al.*, 2016).

Por fim, em relação ao critério velocidade houve um relativo equilíbrio entre os modais, com predominância do modal hidroviário, seguido pelo ferroviário. Porém esse critério depende da distância da viagem, uma vez que o modal rodoviário é mais veloz para pequenas e médias distâncias. Na literatura, porém, o modal hidroviário é considerado o mais lento (CASTRO *et al.*, 2016).

A partir da aplicação do método AHP foi possível definir, com base nos cinco critérios e nos pesos atribuídos pelos especialistas consultados, o grau de priorização dos três modais estudados, o que é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Resultado da priorização dos modais.

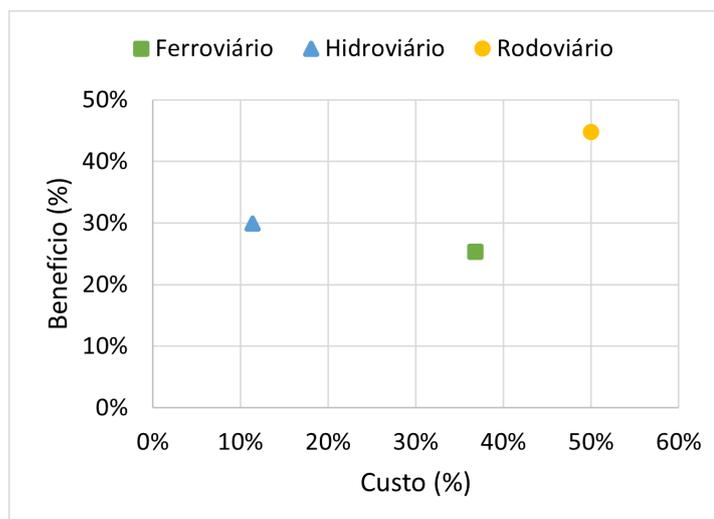


Fonte: adaptado de: Castro *et al.* (2016).

Para o cenário estudado e considerando-se no modelo apenas os cinco critérios operacionais, o modal rodoviário foi o que apresentou o maior grau de priorização, seguido pelo modal hidroviário e, por fim, o modal ferroviário. Esse contraste em relação ao encontrado na literatura se deve ao fato de a análise de custo ter sido realizada à parte.

A partir da análise dos custos (R\$ por tonelada por quilômetro) para fretes de longa distância (acima de 1.100 km para o modal rodoviário, acima de 500 km para o modal ferroviário e acima de 1.000 km para o modal hidroviário) e do benefício apresentado pela análise AHP foi possível estabelecer uma relação custo-benefício entre os três modais. A Figura 6 apresenta o resultado da comparação entre o custo-benefício relativos aos três modais.

Figura 6 – Análise do custo-benefício dos modais.



Fonte: adaptado de: Castro *et al.* (2016).

Embora o modal rodoviário apresente o maior custo entre os três modais analisados, é também o que apresenta o maior benefício aos transportadores. O modal hidroviário se destaca por oferecer o menor custo entre os três modais, além de oferecer mais benefício que o modal ferroviário no transporte de longa distância de grãos.

3.2 PROMETHEE II

Os autores Silva, Marsaro e Bortoluzzi (2018), utilizaram o método PHOMETHE II com a finalidade de desenvolver um modelo de apoio à decisão multicritério na seleção do modal de transporte de cargas a granel (grãos) no estado do Maranhão. Os critérios analisados e os respectivos objetivos foram: velocidade (maximização), custo (minimização), disponibilidade (maximização), perdas e danos (minimização) e capacidade (maximização).

Os critérios velocidade (km/h) e custo (R\$/km) foram analisados em uma escala contínua e os critérios capacidade, perdas e danos e disponibilidade foram analisados em uma escala de cinco pontos: 1 – muito ruim; 2 – ruim; 3 – médio; 4 – bom; 5 – muito bom. A Tabela 1 resume os dados encontrados pelos autores, assim como os pesos atribuídos a cada um dos critérios, onde se sobressaem custo e disponibilidade. A última coluna apresenta o ranqueamento de cada um dos modais analisados.

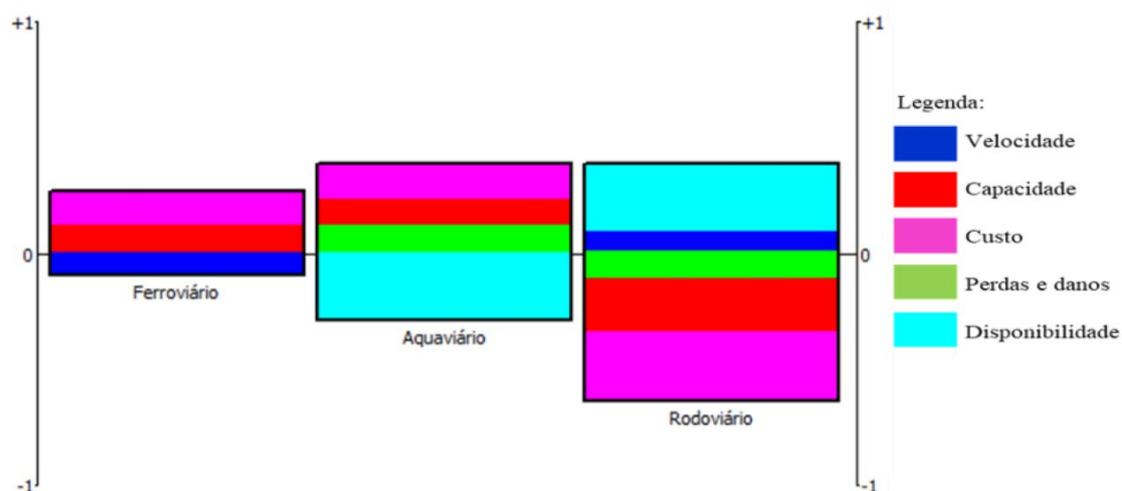
Tabela 1 – Dados do modelo PROMETHEE II.

Alternativas	Critério					Ranking
	Velocidade (km/h)	Capacidade	Custo (R\$/km)	Perdas e danos	Disponibilidade	
Aquaviário	28,0	5	48,32	5	1	2
Ferrovário	22,1	5	56,01	4	2	1
Rodoviário	80,0	2	105,00	1	5	3
Peso	0,0857	0,2286	0,2857	0,1143	0,2857	

Fonte: adaptado de: Silva; Marsaro e Bortoluzzi (2018).

Segundo os autores, o melhor modal para o caso estudado é o ferroviário, seguido do aquaviário e, por último, o rodoviário. A Figura 7 apresenta o resultado da classificação por critério, onde é possível identificar qual fator contribui positivamente ou negativamente para a classificação geral. Em cada modal, a altura dos retângulos ilustra o quão bom ou o quão ruim é o desempenho do critério na classificação (SILVA; MARSARO; BORTOLUZZI, 2018).

Figura 7 – Análise dos resultados do método PROMETHEE II.



Fonte: Silva; Marsaro e Bortoluzzi (2018).

No cenário estudado o modal ferroviário é prejudicado apenas no critério velocidade, enquanto no modal aquaviário o ponto negativo é a disponibilidade. Para o modal rodoviário, existem três fatores negativos: perdas e danos, capacidade e custo, este último o maior dos três. Porém, quando apresentado ao gestor encarregado da decisão sobre o transporte, foram feitas duas alterações no modelo: primeiro, devido à existência de um contrato com uma transportadora, seria possível reduzir o valor do frete rodoviário pela metade, resultando em um empate entre os modais ferroviário e rodoviário; segundo, o gestor decidiu aumentar o peso do

critério disponibilidade para 0,300, o que tornou o modal rodoviário a melhor escolha no cenário analisado, seguido pelo ferroviário.

3.3 Comparação dos cenários

Os dois modelos analisados se assemelham em relação aos critérios utilizados, com exceção da inclusão do fator custo no modelo do PROMETHEE. Em ambos os casos, o modal melhor classificado foi o rodoviário. A principal diferença entre a classificação dos modais em cada critério diz respeito à confiabilidade (ou perdas e danos) e à velocidade. No estudo envolvendo o estado do Mato Grosso do Sul o modal rodoviário foi considerado o mais confiável, enquanto no Maranhão o modal considerado o mais confiável foi o hidroviário, seguido de perto pelo ferroviário.

Com relação à velocidade, no primeiro estudo o modal hidroviário foi considerado o mais rápido, seguido pelo ferroviário. Já no segundo estudo o modal rodoviário foi o primeiro classificado nesse critério. O Quadro 1 resume os dados dos dois modelos analisados.

Quadro 1 – Comparação dos cenários analisados.

Modelo Estado	Critérios					Ranking
	Modal melhor classificado					
AHP* Mato Grosso do Sul	Capacidade	Disponibilidade	Confiabilidade	Custo	Velocidade	1 – Rodo
	Hidro	Rodo	Rodo	Rodo	Hidro	2 – Hidro
						3 – Ferro
PROMETHEE Maranhão	Capacidade	Disponibilidade	Perdas e danos	Custo	Velocidade	1 – Rodo
	Hidro/Ferro	Rodo	Hidro	Hidro	Rodo	2 – Ferro
						3 – Hidro

* No modelo AHP ainda aparece o critério Frequência, no qual o melhor classificado é o modal Rodoviário.

Fonte: o autor (2023).

As diferentes classificações de cada modal em cada um dos critérios estão sujeitas à subjetividade na atribuição dos pesos que cada critério possuirá no modelo. Na aplicação da técnica AHP foram ouvidos vários especialistas e o peso final foi resultado da ponderação (por média geométrica) das opiniões individuais. Já no método PROMETHEE II, apenas um gestor foi ouvido, o que pode gerar distorções entre a percepção individual (ou da empresa em questão) e a realidade do transporte em todo o estado. Apesar disso, os resultados foram coincidentes, pelos menos em relação à classificação do primeiro modal (rodoviário).

Com base nos dados é possível, então, afirmar que os principais critérios na escolha do modal são disponibilidade e custo. Embora o modal rodoviário, quando analisado apenas o custo por quilômetro, tenha desvantagem em relação aos demais modais analisados, ele ainda se sai bem colocado pela relação custo-benefício, conforme mostrado na Figura 6. Além disso, nos dois casos analisados o modal rodoviário também é o melhor classificado em termos de disponibilidade. Portanto, levando em consideração esses dois critérios principais (disponibilidade e custo), o modal rodoviário é o primeiro colocado em ambos os casos.

Os métodos de decisão multicritério são uma abordagem útil para lidar com a complexidade envolvida na seleção do modal de transporte de commodities agrícolas, considerando múltiplos critérios e preferências dos diferentes envolvidos. Ao utilizar métodos de decisão multicritério como o AHP e o PROMETHEE II, os decisores podem considerar uma variedade de fatores relevantes na seleção do modal de transporte, tais como custos, velocidade, confiabilidade, capacidade, disponibilidade, flexibilidade, segurança, impacto ambiental e restrições operacionais, entre outros. Esses critérios são frequentemente contraditórios e envolvem *trade-offs* (a seleção de um fator em detrimento de outro), tornando a seleção do modal de transporte um desafio complexo.

Uma das principais vantagens dos métodos de decisão multicritério é a capacidade de estruturar e quantificar os critérios relevantes, atribuindo pesos a cada um deles de acordo com a importância relativa para o tomador de decisão. Essa abordagem permite a comparação objetiva dos diferentes modais de transporte, facilitando a tomada de decisão informada e sendo útil para lidar com a incerteza e a subjetividade envolvidas na seleção do modal de transporte.

No entanto, é importante reconhecer que a aplicação dos métodos de decisão multicritério na seleção de modais de transporte de commodities agrícolas tem suas limitações. A escolha dos critérios e seus pesos requer um conhecimento aprofundado do contexto específico e pode variar de acordo com as preferências e objetivos dos envolvidos. Além disso, a disponibilidade e a confiabilidade dos dados utilizados para a avaliação dos critérios podem ser um desafio, especialmente em regiões com infraestrutura de transporte menos desenvolvida.

A estratégia de redução de custos passa, então, pela necessidade de se adaptar os métodos de decisão multicritério para a realidade e características específicas da região onde se pretende elaborar a pesquisa. Isso inclui considerar as particularidades dos diferentes tipos de commodities agrícolas cultivadas, as exigências de armazenamento e manuseio, as sazonalidades e as peculiaridades das rotas de transporte e da infraestrutura existente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o agronegócio, analisar cada um dos critérios que influenciam a escolha dos modais é de suma importância, com diferentes modais sendo mais adequados em função dos critérios preponderantes para o gestor. Modais como o rodoviário, o ferroviário, o hidroviário, o dutoviário e o aeroviário têm capacidades e alcances diferentes, sendo mais adequados para diferentes situações. A natureza do produto agrícola também é relevante, pois isso impacta diretamente no peso atribuído a cada critério em análise.

O objetivo do trabalho, de analisar os principais critérios que influenciam a escolha dos modais de transporte do agronegócio a partir da análise multicritério, foi alcançado com a pesquisa da literatura, tendo sido identificados os seguintes critérios, em ordem decrescente de importância, para o agronegócio: disponibilidade, custo, capacidade, confiabilidade e velocidade.

Com base nos métodos AHP e PROMETHEE II, o modal rodoviário foi considerado o mais eficaz para o transporte de carga no agronegócio. Isso se deu, principalmente, pelos maiores pesos atribuídos aos critérios disponibilidade e custo (em termos de custo-benefício). Uma vez que cada modal tem suas particularidades e custos associados, uma análise cuidadosa dos critérios associados ao negócio é fundamental para se determinar a estratégia logística mais adequada para cada tipo de carga e visando reduzir os custos e aumentar a competitividade empresarial.

A pesquisa realizada, com a análise de modelos de decisão multicritério e a identificação dos critérios mais importantes para o transporte de produtos agrícolas, apresenta contribuições para os grandes, médios e pequenos transportadores. Os resultados obtidos podem servir como um guia para profissionais, pesquisadores e gestores do setor de transportes, contribuindo para aprimorar as práticas logísticas no agronegócio, com possibilidade de aplicação das técnicas de decisão multicritério aos demais setores da economia.

Em futuras pesquisas se poderia analisar as tendências e inovações no transporte de carga no agronegócio, o que envolveria uma análise de tecnologias emergentes, como automação, veículos elétricos, logística reversa e compartilhamento de carga. Tais tecnologias impactam diretamente os critérios e pesos associados a cada modal, o que poderia alterar o equilíbrio do resultado atual. Outro fator a ser analisado é o investimento em infraestrutura de transporte, principalmente na expansão da malha ferroviária e das hidrovias.

REFERÊNCIAS

- ABAGRP. Associação Brasileira do Agronegócio da Região do Ribeirão Preto, **Pesquisa de conceito do agronegócio**, 2023. < Disponível em: <https://www.abagrp.org.br/conceito> >. Acesso em 24 maio 2023.
- ARIEIRA, J. O. **Fundamentos do agronegócio**. Indaial, UNIASSELVI, p. 168, 2017.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**; 5 ed. tradução Raul Rubenich. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2006. Título original: *Supply chain/enterprise logistics management*.
- BARRETO, R. C. P.; RIBEIRO, A. J. M. **Logística no Brasil: Uma análise do panorama dos modais rodoviários e ferroviários no cenário nacional demonstrando as vantagens e desvantagens das referidas modalidades**. Rio de Janeiro, Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, 2019.
- BARROS, G. S. C. **Agronegócio: conceito e evolução**. São Paulo, centro de estudo avançado em economia aplicada ESALQ/USP, 2022.
- CASTRO, D. M.; *et al.* **Modelo de decisão multicritério para escolha do modo de transporte: um estudo do escoamento da produção de grãos de Mato Grosso do Sul**. Florianópolis, Revista científica eletrônica de Engenharia de produção, 2016.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa de aquaviário**, 2006. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisa-aquaviaria-longo-curso>. Acesso em 23 maio 2023.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa de ferroviário**, 2015. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisa-cnt-ferrovias>. Acesso em 09 maio 2023.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa de rodoviário**, 2018. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/148>. Acesso em 23 maio 2023.
- DANTAS, A. A. N.; *et al.* **Análise da implantação do modal dutoviário no transporte de grãos da região Centro-Oeste do Brasil**. Taquara, Revista do Desenvolvimento Regional, p. 91, 2022.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. [s. l.]: UFRGS, p. 31, 2009.
- ORNELLAS, A.; CAMPOS, R. **Características de modais de transporte e requisitos para simulações na área de logística**. São Paulo, UNESP/FEB, p. 71, 2008.
- PAULA, Guilherme Vitor de. **O Transporte de cargas no Brasil: um comparativo entre os modais e as suas estruturas de custos**. Guaratinguetá, UNESP, 2016.
- PENTEADO, G. C. M.; MIRONDOLA, F. **Modais de transporte e sua importância no avanço da logística**. São Paulo, Centro Paulo Souza, 2021.
- SANTOS, J. D.S.; PEREIRA, L. A. G. **Logística de transportes do agronegócio e exportações de soja no centro-oeste brasileiro**. Jataí, Geoambiente On-line, 2019.

SILVA, M. J. F.; MARSARO, M. F.; BORTOLUZZI, M. B. O. **Seleção de modal de transporte através de um método de apoio a decisão multicritério**. Maceió, ENEGEP, 2018.

WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando. **Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos**. Brasília: Ipea, 2006.